



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**MÉTODO SIMPLIFICADO PARA MEDICIÓN DE LA TANGENTE**  
**DELTA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES: YAHELI DORIMARY CHICA CALOZUMA**  
**PAOLA ELIZABETH CABRERA PEÑARANDA**  
**TUTOR: ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE, Mgtr.**

Cuenca - Ecuador  
2024

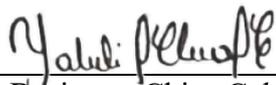
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Yaheli Dorimary Chica Calozuma con documento de identificación N° 0705638989 y Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda con documento de identificación N° 0106094352; manifestamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 5 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Yaheli Dorimary Chica Calozuma

0705638989



---

Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda

0106094352

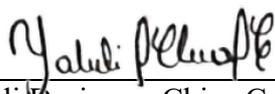
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Yaheli Dorimary Chica Calozuma con documento de identificación N° 0705638989 y Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda con documento de identificación N° 0106094352, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto técnico: “Método simplificado para medición de la tangente delta”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 5 de agosto del 2024

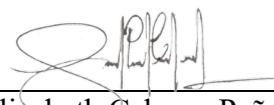
Atentamente,



---

Yaheli Dorimary Chica Calozuma

0705638989



---

Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda

0106094352

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque con documento de identificación N° 0102257482, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MÉTODO SIMPLIFICADO PARA MEDICIÓN DE LA TANGENTE DELTA, realizado por Yaheli Dorimary Chica Calozuma con documento de identificación N° 0705638989 y por Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda con documento de identificación N° 0106094352, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 5 de agosto del 2024

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
FLAVIO ALFREDO  
QUIZHPI PALOMEQUE

---

Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque

0102257482

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía constante y por concederme la fuerza y la perseverancia necesarias para alcanzar esta importante meta. A mis padres, Fernando Chica y Melania Calozuma, les debo todo lo que soy. Gracias por darme el invaluable regalo del estudio, un legado que siempre han sostenido como la herencia más grande que podrían ofrecerme. Hoy, más que nunca, sus palabras resuenan con verdad, y me llena de orgullo saber que este logro es también suyo, fruto de tantos años de sacrificio, dedicación y confianza en mis capacidades. Lo que alguna vez parecía un sueño lejano hoy se ha convertido en una realidad, y sé que comparten conmigo la alegría de este momento. A mi hermano Royer, quiero agradecerle por su constante presencia, por ser mi apoyo incondicional en cada paso de este camino. A mi querido hermano Fernando (+), quien en vida fue un faro de inspiración; sé que, desde donde esté, celebra conmigo este logro. Su ejemplo ha sido un impulso constante en mi vida, y siempre llevaré su recuerdo con gratitud y amor. Finalmente, extiendo mi más sincero agradecimiento al Ing. Flavio Quizhpi, por su confianza y apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo de titulación. Su orientación ha sido fundamental para la culminación de esta etapa tan significativa.*

**Yaheli Dorimary Chica Calozuma**

*A mis padres, Marcelo Cabrera y Yolanda Peñaranda: Quiero comenzar expresando mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida. Su amor y aliento me han impulsado a perseguir mis objetivos personales y académicos, nunca permitiéndome rendirme ante las adversidades. Gracias a su respaldo material y emocional, he podido concentrarme en mis estudios y alcanzar esta importante meta. Su amor y sacrificio han iluminado mi camino durante este viaje académico. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. Asimismo, quiero agradecer al ingeniero Flavio Quizhpie, mi tutor de tesis. Le agradezco por habernos apoyado y extendido la mano en un momento en el que todo parecía imposible, así como por haber creído en nosotras y recordarnos siempre que éramos capaces de lograrlo. Su dedicación y paciencia han sido fundamentales en este proceso. Sin sus valiosos consejos y correcciones precisas, no habría llegado a esta instancia tan anhelada. Su guía constante ha sido una fuente de inspiración y su fe en mis capacidades me ha motivado a superar mis propios límites.*

**Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda**

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto de titulación a mis padres, Fernando Chica y Melania Calozuma, quienes han sido el pilar más firme y constante en mi vida. Su ejemplo de superación, honestidad, amor incondicional y apoyo sin límites ha sido la base sobre la cual he construido este logro. Cada paso en este camino ha sido inspirado por su dedicación y esfuerzo, y este trabajo es un reflejo del profundo impacto que han tenido en mi vida. Lo dedico también a mi hermano, por el amor y sacrificio que ha marcado nuestra familia, y a mi hija, quien se ha convertido en mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante. Este logro es tanto para ustedes como para mí, y lleva consigo todo el amor y la gratitud que les debo.*

**Yaheli Dorimary Chica Calozuma**

*Dedico esta tesis principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta. A mis amados padres, Marcelo y Yolanda, cuyo amor, paciencia y apoyo incondicional han sido la base de cada uno de mis logros. Su confianza en mí ha sido el fundamento de mi éxito. A lo largo de este viaje, a pesar de los momentos difíciles y los regaños por decisiones tomadas, nunca dejaron de estar a mi lado, guiándome y apoyándome. Les agradezco por permitirme aprender de mis errores y por su constante paciencia. Cada desafío enfrentado y cada decisión tomada, tanto acertadas como erradas, me han enseñado valiosas lecciones y me han hecho más fuerte. Esta tesis es un testimonio del esfuerzo y amor que han invertido en mi formación y en mi desarrollo como persona. Ustedes son mi mayor inspiración y el mejor regalo que he recibido. Dedico este logro a ustedes, pues han sido la verdadera fuerza que me ha impulsado a alcanzar mis metas. Dedico también este logro a mi hermano, Marcelito. Nuestras peleas y regaños, así como nuestro amor de hermanos, han sido parte del proceso. Mi intención ha sido enseñarte que con dedicación y esfuerzo se pueden alcanzar todas las metas. Espero que este logro te inspire a seguir persiguiendo tus sueños con la misma determinación. Estoy convencida de que un día superarás todo lo que he alcanzado, y eso es lo que más deseo para ti. Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mi familia, que ha sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo.*

**Paola Elizabeth Cabrera Peñaranda**

# RESUMEN

El presente estudio de investigación se centra en el desarrollo de un procedimiento simplificado para la evaluación de la  $\tan \delta$  en materiales dieléctricos, dirigido a estudiantes de ingeniería eléctrica en proceso de formación.

En la primera parte se puntualiza la importancia de la tangente delta en la evaluación de la calidad dieléctrica de los materiales aislantes, subrayando la necesidad de un enfoque accesible y preciso para su medición.

El Método Simplificado, busca obtener el parámetro de la tangente delta siguiendo el siguiente proceso: (1) Montaje de un circuito de medición, (2) Obtener la data del elemento de prueba, (3) Procesamiento de la data aplicando un filtro digital, previamente fue validado matemáticamente y con la data obtenida de un generador de funciones, finalmente (4) análisis de los resultados.

Los resultados presentan las características del comportamiento de los materiales seleccionados bajo las condiciones de ambiente seco, lluvioso y contaminado.

Según los análisis efectuados en diferentes entornos, se determina que en uno de los casos se logra cumplir con los parámetros estándar del método de evaluación. En el marco de la presente investigación, los resultados finales obtenidos en los tres escenarios revelan que los dos materiales dieléctricos de prueba, polímero y pin, no satisfacen los requisitos establecidos. Las mediciones realizadas en condiciones de ambiente seco indican que el valor estándar es superado por el pin, tanto en ambientes secos como en ambientes de lluvia, pero no alcanza los niveles requeridos en entornos contaminados. Para el pin en estado nuevo no logra cumplir con los estándares preestablecidos, mientras que en su estado deteriorado sí lo consigue. En relación al polímero, tanto en condiciones nuevos como en estados deteriorados, se excede el rango estándar en los tres escenarios de evaluación.

Después de analizar los resultados y revisar las conclusiones de cada uno de los procesos aplicados, se concluye que el método propuesto no cumple con las expectativas para ser considerado un método confiable en la medición de la tangente delta de los materiales aislantes.

En la sección final del documento, se presentan los resultados obtenidos bajo diversas condiciones variables aplicadas.

**Palabras clave:** Método simplificado, Tangente delta, Materiales dieléctricos, Medición, Aislamiento, Filtro.

# ABSTRACT

This research study focuses on the development of a simplified procedure for the assessment of *tan delta* in dielectric materials, aimed at trainee electrical engineering students.

In the first part, the importance of the tangent delta in the evaluation of the dielectric quality of insulating materials is pointed out, underlining the need for an accessible and accurate approach to its measurement.

The Simplified Method seeks to obtain the tangent delta parameter by the following process: (1) Assembly of a measurement circuit, (2) Obtaining the data from the test element, (3) Data processing by applying a digital filter, previously validated mathematically and with the data obtained from a function generator, finally (4) analysis of the results.

The results present the characteristics of the behaviour of the selected materials under the conditions of dry, rainy and polluted environment.

Based on the analyses carried out in different environments, it is determined that in one of the cases the standard parameters of the evaluation method are met. In the framework of the present investigation, the final results obtained in the three scenarios reveal that the two dielectric test materials, polymer and pin, do not meet the established requirements. Measurements under dry environmental conditions indicate that the standard value is exceeded by the pin in both dry and rainy environments, but does not reach the required levels in polluted environments. For the pin in its new state it fails to meet the pre-established standards, while in its deteriorated state it does. For the polymer, in both new and deteriorated states, the standard range is exceeded in all three assessment scenarios.

After analysing the results and reviewing the conclusions of each of the processes applied, it is concluded that the proposed method does not meet the expectations to be considered a reliable method for measuring the tangent delta of insulating materials.

In the final section of the paper, the results obtained under various variable conditions are presented.

**Keywords:** simplified method, tangent delta, dielectric materials, measurement, insulation, filter.

# ÍNDICE

<b>1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA TANGENTE DELTA.</b>	<b>3</b>
1.1. Importancia de la tangente delta ( $\tan \delta$ ) en materiales dieléctricos. . . . .	3
1.2. Análisis de Métodos Existentes. . . . .	4
1.3. Normativas Relevantes para la Medición de la Tangente Delta. . . . .	5
<b>2. MÉTODO SIMPLIFICADO PROPUESTO</b>	<b>8</b>
2.1. Explicación del Método. . . . .	9
2.2. Validación del Procesamiento. . . . .	11
2.3. Validación del Método. . . . .	15
2.4. Aplicación del Método en distintos Aislantes. . . . .	16
2.5. Prueba en Seco . . . . .	17
2.5.1. Selección del nivel de aislamiento estándar del equipo . . . . .	17
2.5.2. Procedimiento para el ensayo en seco . . . . .	18
2.6. Prueba en Lluvia . . . . .	18
2.6.1. Selección del nivel de aislamiento estándar del equipo . . . . .	18
2.6.2. Preparación del objeto de ensayo . . . . .	19
2.6.3. Procedimiento de humectación de prueba húmeda . . . . .	20
2.6.4. Procedimiento para Iniciar la prueba de Ensayo en Húmedo . . . . .	20
2.7. Prueba en Contaminante . . . . .	21
2.7.1. El método de ensayo de la capa sólida . . . . .	21
2.7.2. Preparación del aislador . . . . .	21
2.7.3. Aplicación de la capa de contaminante . . . . .	22
2.7.4. Recomendaciones adicionales para el método de ensayo en capa sólida . . . . .	23
2.7.5. Secado de la capa de contaminación . . . . .	23
2.7.6. Procedimiento para el ensayo en contaminación . . . . .	23
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>25</b>
3.1. Medición de la Tangente Delta en Aislantes. . . . .	25
3.1.1. Ensayo en Seco . . . . .	26
3.1.2. Ensayo en Lluvia . . . . .	37
3.1.3. Ensayo en Contaminación . . . . .	43
3.2. Análisis. . . . .	49
3.2.1. Análisis General en Seco. . . . .	50
3.2.2. Análisis General en Lluvia . . . . .	52
3.2.3. Análisis General en Contaminación . . . . .	53

3.3. Análisis comparativo de resultados de pruebas. . . . .	54
3.3.1. Cálculos Aplicados a los Datos . . . . .	56
3.3.1.1. Estado Nuevo . . . . .	56
3.3.1.2. Estado Deteriorado . . . . .	56
3.4. Análisis Estadístico . . . . .	57
3.4.1. <b>Pin</b> . . . . .	57
3.4.2. <b>Polimero</b> . . . . .	59
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Circuito para medición de $\tan \delta$ . . . . .	9
2.2. Circuito para calibración de escalas [1] . . . . .	10
2.3. Error Transitorio en Señal Corriente Filtrada. . . . .	13
2.4. Comprobación de modelo matemático. . . . .	14
2.5. Señales Voltaje-Corriente-Generador . . . . .	14
2.6. Circuito . . . . .	15
3.1. Señal Voltaje-Corriente- Grilón . . . . .	28
3.2. Relación Voltaje-Corriente, Grilón. . . . .	28
3.3. Señales Voltaje-Corriente-Cable-nuevo . . . . .	29
3.4. Señales Voltaje-Corriente-Cable-deteriorado . . . . .	30
3.5. Relación voltaje-corriente, Cable-nuevo. . . . .	30
3.6. Relación voltaje-corriente, Cable-deteriorado. . . . .	31
3.7. Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo . . . . .	32
3.8. Señales Voltaje-Corriente-Pin-deteriorado . . . . .	33
3.9. Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo. . . . .	33
3.10. Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado. . . . .	34
3.11. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo . . . . .	35
3.12. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-deteriorado . . . . .	36
3.13. Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo. . . . .	36
3.14. Relación voltaje-corriente, Polímero-deteriorado. . . . .	37
3.15. Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo . . . . .	38
3.16. Señales Voltaje-Corriente-Pin-Deteriorado . . . . .	39
3.17. Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo. . . . .	39
3.18. Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado. . . . .	40
3.19. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo . . . . .	41
3.20. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-Deteriorado . . . . .	41
3.21. Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo. . . . .	42
3.22. Relación voltaje-corriente, Polímero-deteriorado. . . . .	42
3.23. Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo . . . . .	44
3.24. Señales Voltaje-Corriente-Pin-Deteriorado . . . . .	44
3.25. Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo. . . . .	45
3.26. Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado. . . . .	46
3.27. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo . . . . .	47
3.28. Señales Voltaje-Corriente-Polímero-deteriorado . . . . .	47
3.29. Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo. . . . .	48

3.30. Relación voltaje-corriente, Polímero-deterioado. . . . .	49
3.31. Pin nuevo-deteriorado. . . . .	57
3.32. Polímero nuevo-deteriorado. . . . .	59

# Índice de tablas

2.1. Elementos y características de equipos de alto voltaje . . . . .	10
2.2. Voltajes nominales . . . . .	16
2.3. Voltage levels and insulation requirements [2]. . . . .	17
2.4. Condiciones de precipitación (procedimientos estándar y convencionales) [2]. . . . .	19
2.5. Composición del caolín [2] . . . . .	22
3.1. Valores estándar de propiedades eléctricas de algunos materiales aislantes sólidos [3]. . . . .	26
3.2. Tabla de datos en seco . . . . .	26
3.3. Ventajas y desventajas de las mediciones de $\tan \delta$ para diferentes fuentes de voltaje [4] . . . . .	31
3.4. Tabla de datos en lluvia . . . . .	37
3.5. Tabla de datos en Contaminación . . . . .	43
3.6. Pruebas en seco Material Grilón . . . . .	50
3.7. Pruebas en seco Material Cable . . . . .	50
3.8. Pruebas en seco Material Pin . . . . .	51
3.9. Pruebas en seco Material Polímero . . . . .	51
3.10. Pruebas en lluvia Material Pin . . . . .	52
3.11. Pruebas en lluvia Material Polímero . . . . .	53
3.12. Pruebas en contaminante Material Pin . . . . .	53
3.13. Pruebas en contaminante Material Polímero . . . . .	54
3.14. Valores de la Media de $\tan \delta$ . . . . .	56

# INTRODUCCIÓN

La medición precisa de la  $\tan \delta$  en materiales dieléctricos es fundamental en diversos campos de la ingeniería y la industria debido a su capacidad para evaluar las pérdidas dieléctricas y la eficiencia de los aislantes eléctricos. Este trabajo se enfoca en el desarrollo de un método simplificado para la obtención de la  $\tan \delta$ .

El presente estudio propone un método alternativo que busca ser una solución eficiente y confiable para la determinación de la  $\tan \delta$  en materiales dieléctricos. La metodología desarrollada abarca desde la implementación de un circuito de medición de corriente de fuga en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca, hasta la validación experimental del método mediante la aplicación de voltajes en componentes de sistemas de alto voltaje.

## Normas Utilizadas

Se han seguido diversas normas y estándares internacionales para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados. Entre las normativas más importantes se encuentran:

- IEC 60270: Norma para la medición de descargas parciales, que proporciona directrices esenciales para asegurar la precisión en la medición de parámetros dieléctricos.
- IEC 60093: Relativa a las pruebas de resistividad de aislamiento, crucial para determinar las propiedades eléctricas de los materiales bajo estudio.
- IEEE Std 4-2013: Actualiza y refina las prácticas recomendadas para la prueba de componentes eléctricos como transformadores, interruptores y cables, ayudando a los profesionales a llevar a cabo evaluaciones precisas y consistentes.

## Objetivos del Estudio

El objetivo principal de esta investigación es contribuir al avance del conocimiento en el campo de la medición de la  $\tan \delta$ , proporcionando herramientas y métodos que faciliten la caracterización y evaluación de materiales dieléctricos con alta precisión y fiabilidad, a pesar de los desafíos encontrados durante el proceso experimental.

## **Metodología y Validación**

A lo largo del documento se detalla la metodología propuesta, incluyendo la implementación de un filtro digital para eliminar componentes no deseadas de la señal de corriente, como ruido y distorsión electromagnética, asegurando así la obtención de la componente fundamental de la señal. Los resultados experimentales validan la precisión del método propuesto, demostrando su utilidad en la evaluación de materiales empleados en redes eléctricas.

## **Resultados y Conclusiones**

Finalmente, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos, destacando tanto las fortalezas como las limitaciones del método propuesto. Se concluye con una serie de recomendaciones que aportan una visión integral sobre la importancia de la tangente delta en materiales dieléctricos y sugieren posibles mejoras para futuros estudios.

# CAPITULO 1

## MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA TANGENTE DELTA.

La  $\tan \delta$  o factor de disipación, mide las pérdidas dieléctricas en un material aislante. Indica la relación entre la potencia disipada como calor y la potencia almacenada en el campo eléctrico. Matemáticamente,  $\tan \delta$  es la tangente del ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje en un sistema de corriente alterna (CA) [5] [4].

Donde:

- $\delta$  es el ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje.
- $\tan(\delta)$  representa la relación entre la corriente resistiva (debido a las pérdidas del material) y la corriente capacitiva (debido a la capacidad del material).

El valor de  $\tan \delta$  refleja la eficiencia del material aislante; un  $\tan \delta$  más bajo sugiere menores pérdidas dieléctricas y, por ende, un mejor rendimiento del aislante

$$\tan \delta = D = \frac{I_r}{I_c} = \frac{1}{\omega CR} \quad (1.1)$$

### 1.1. Importancia de la tangente delta ( $\tan \delta$ ) en materiales dieléctricos.

La  $\tan \delta$  es un parámetro importante en la caracterización de los materiales dieléctricos, ya que proporciona información crucial sobre la pérdida de energía y la resistencia al flujo de corriente en un

sistema eléctrico. La medición precisa de la  $\tan \delta$  es fundamental para garantizar el funcionamiento eficiente y seguro de equipos y componentes en aplicaciones de alto voltaje.

## 1.2. Análisis de Métodos Existentes.

Existen varios métodos convencionales para medir la  $\tan \delta$ , como Método de Alta Frecuencia de Corriente Alterna HFAC (High Voltage Alternating Current), Método de pérdida dieléctrica, Método de Muy Baja Frecuencia VLF (Very Low Frequency), Método de Baja Tensión y Alta Frecuencia. Sin embargo, estos métodos suelen requerir equipos especializados, que son complejos y consumen tiempo, lo que limita su aplicabilidad en ciertas situaciones. A continuación una breve descripción de cada uno de los métodos que se utilizan los autores para la medición de la tangente delta:

- Zhang [6], en su artículo titulado "AN ONLINE MEASURING METHOD FOR TANGENT DELTA OF POWER CABLES BASED ON AN INJECTED VERY-LOW-FREQUENCY SIGNAL", expone sobre el deterioro del aislamiento en cables eléctricos siendo un problema ampliamente reconocido, y su detección sienta las bases para un mantenimiento y revisión adecuados. La medición de la  $\tan (\delta)$  a muy baja frecuencia (VLF) ha demostrado ser efectiva para detectar problemas en el aislamiento de cables.

Sin embargo, se requiere que los cables se desconecten de la red eléctrica, lo que interrumpe su funcionamiento normal. Para superar esta limitación, se propone un método avanzado de medición en línea de la  $\tan (\delta)$ . Este método se basa en la inyección artificial de un voltaje VLF y la medición de la corriente de fuga VLF a través del aislamiento del cable. Para implementar este método, se desarrolló una fuente de inyección con autoprotección y un canal de derivación para señales de frecuencia de potencia. Esto permite inyectar de manera segura un voltaje VLF al sistema de potencia.

- Permal [7] en su artículo titulado "TANGENT DELTA EXTRACTION OF CABLE JOINTS FOR AGED 11 KV UNDERGROUND CABLE SYSTEM", propone un método de extracción para la unión de cables a partir de una muestra de cable con defectos inducidos de 11 kV con impurezas de negro de humo en su aislamiento. La técnica se implementará en cables defectuosos con varias combinaciones de dos uniones de 20 m de longitud.

La  $\tan (\delta)$  de la unión del cable se determinará a partir de la medición de la  $\tan (\delta)$  a granel utilizando frecuencias más altas ( $>100 \text{ Hz}$ ) y voltajes de 1 kV. En el experimento, se obtendrán los valores de corriente ( $I$ ), voltaje ( $V$ ) y fase ( $\theta$ ) utilizando la configuración de medición HFAC (High Frequency Alternating Current).

- Tang [8], plantea que el deterioro del aislamiento de los cables es un problema ampliamente reconocido que puede provocar fallas en el sistema eléctrico. La detección temprana del deterioro del aislamiento es esencial para el mantenimiento y la revisión preventivos. La medición de la  $\tan (\delta)$  a muy baja frecuencia (VLF) es un método común para detectar el deterioro del aislamiento de los cables. Sin embargo, el método convencional solo puede realizarse fuera de línea, lo que requiere un corte de energía y la interrupción del funcionamiento normal.

Propone un método simplificado para la medición de la  $\tan(\delta)$  de transformadores de potencia en servicio. El método se basa en la medición de la corriente de fuga a baja frecuencia y el voltaje aplicado. Este es preciso y confiable, y se puede utilizar para monitorear el estado del aislamiento de los transformadores de potencia sin necesidad de un corte de energía.

- Finalmente, Kumar [9] en su tesis titulado "TANGENT DELTA LOW VOLTAGE HIGH FREQUENCY AC METHOD TO MEASURE HV UNDERGROUND XLPE CABLES", manifiesta sobre la  $\tan(\delta)$  que utiliza corriente alterna de baja tensión y alta frecuencia es un método para probar la durabilidad del aislamiento de los cables. Los cambios de fase entre la corriente y el voltaje a través del cable se utilizan para obtener la medición de  $\tan(\delta)$ . Las ventajas de este método en comparación con los equipos del mercado son que la configuración experimental se reduce y se mejoran las resoluciones especiales. Este método puede medir cables de alto voltaje tan cortos como 1 m. Este método se calibró utilizando cables fabricados con imperfecciones para distinguir varias severidades y también con un buen cable como punto de referencia. Se estableció una curva de calibración correlacionando los resultados del sistema de medición de la  $\tan(\delta)$  HFAC (High Frequency Alternating Current), con un sistema de medición comercializado de 50Hz.

Para desarrollar del método propuesto, es fundamental basarse en normativas reconocidas y ampliamente aceptadas que establecen los principios y procedimientos estandarizados para estas mediciones.

### 1.3. Normativas Relevantes para la Medición de la Tangente Delta.

Las normativas que se mencionan a continuación han sido seleccionadas y adaptadas para el desarrollo del método propuesto, proporcionando una base sólida y un marco de referencia técnico que garantiza la precisión y validez de los resultados obtenidos. Estas normativas cubren una amplia gama de aspectos relacionados con la caracterización dieléctrica de materiales sólidos y líquidos, asegurando que el método propuesto cumpla con los más altos estándares de calidad y fiabilidad en la industria.

- **Normativa IEC 60270:** La normativa IEC 60270, titulada "Técnicas de ensayo de alta tensión - Mediciones de descargas parciales", establece métodos y procedimientos para la medición de descargas parciales en equipos eléctricos de alto voltaje. Su objetivo es proporcionar un marco estandarizado para evaluar la condición de aislamiento de equipos como transformadores, cables y otros componentes eléctricos [10].

Esta norma detalla los requisitos para la configuración del equipo de prueba, los métodos de acoplamiento, la eliminación de ruidos y la interpretación de los resultados. Las mediciones de descargas parciales son esenciales para identificar defectos y garantizar la fiabilidad y seguridad de los sistemas eléctricos en operación.

- **Normativa IEC 60093:** La IEC 60093 proporciona métodos estandarizados para la medición de la resistividad volumétrica y superficial de materiales aislantes eléctricos sólidos. Esta normativa es fundamental para evaluar la capacidad de un material para resistir el flujo de corriente eléctrica a

través de su volumen y superficie, lo que es crucial para garantizar la eficacia y seguridad de los sistemas eléctricos. La medición precisa de la resistividad permite la selección y uso adecuado de materiales en aplicaciones donde el aislamiento eléctrico es crítico [11].

- **Normativa IEC 60250:** La IEC 60250 especifica los métodos para medir las propiedades eléctricas de los materiales aislantes, incluyendo la permitividad, el factor de disipación y la resistividad. Esta normativa es esencial para caracterizar cómo los materiales dieléctricos responden a los campos eléctricos y su capacidad para almacenar y disipar energía eléctrica. La aplicación de estos métodos permite asegurar que los materiales cumplen con los requisitos necesarios para su uso en diversas aplicaciones eléctricas [12].

- **La norma IEC 60243:** Esta norma es esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia de los materiales aislantes utilizados en una amplia gama de aplicaciones eléctricas y electrónicas.

La IEC 60243 especifica los procedimientos y las condiciones de ensayo para determinar la rigidez dieléctrica, que es la capacidad de un material aislante para soportar un campo eléctrico intenso sin sufrir una ruptura dieléctrica. Este estándar se aplica a materiales como plásticos, cerámicas y otros compuestos sólidos utilizados en la fabricación de equipos eléctricos [13].

- **Normativa IEC 60247:** La IEC 60247 proporciona directrices para la medición de la permitividad relativa, el factor de disipación dieléctrica y la resistividad en corriente continua de líquidos aislantes. Esta normativa es crucial para la evaluación de líquidos aislantes utilizados en transformadores, cables y otros equipos eléctricos, donde la eficiencia dieléctrica y las pérdidas de energía deben ser minimizadas. La normativa asegura que las mediciones sean precisas y reproducibles, permitiendo una caracterización confiable de los líquidos aislantes [14].

- **La Norma IEEE 4-2013:** Establece procedimientos y técnicas para la realización de pruebas de alto voltaje en sistemas eléctricos. Este estándar proporciona metodologías detalladas para verificar la integridad y el rendimiento de los equipos eléctricos a niveles de voltajes elevados, cruciales para garantizar la seguridad y fiabilidad de las instalaciones eléctricas.

La versión del Std 4-2013 de esta norma actualiza y refina las prácticas recomendadas para la prueba de componentes como transformadores, interruptores y cables, con el objetivo de ayudar a los profesionales de la industria a llevar a cabo evaluaciones precisas y consistentes. La norma abarca diferentes tipos de pruebas, incluyendo pruebas de diagnóstico, pruebas de aceptación y pruebas de tipo, proporcionando directrices para la aplicación de pruebas de tensión alterna, continua y impulsos de alta energía [2].

- **IEEE Std 400:** El estándar IEEE Std 400 proporciona guías para la evaluación del aislamiento en cables de potencia, incluyendo la medición de  $\tan \delta$ . Aunque no siempre proporciona valores ideales específicos, se centra en la comparación de resultados medidos con valores de referencia típicos y la identificación de tendencias en el tiempo [15].

Los autores citados resaltan la importancia de adoptar métodos más avanzados para medir la  $\tan \delta$ , dada la complejidad y especialización requeridas por los enfoques convencionales. Proponiendo técnicas innovadoras, tales como la medición de corrientes de fuga y el uso de corrientes alternas de alta frecuencia y bajo voltaje, con el objetivo de mejorar la precisión y eficiencia en estas mediciones.

En este sentido, la búsqueda y aplicación de las normativas mencionadas proporcionan un marco técnico sólido que facilita el desarrollo de estos métodos avanzados. Esto a su vez contribuye a mejorar la detección temprana de problemas en sistemas eléctricos, fortalecer el monitoreo del aislamiento dieléctrico y garantizar la operatividad segura de los sistemas de suministro de energía.

## CAPITULO 2

# MÉTODO SIMPLIFICADO PROPUESTO

La validación implicará una serie de pasos para asegurar que el método propuesto produzca resultados comparables a los obtenidos mediante técnicas estándar reconocidas.

Esto incluye la verificación de la precisión del código de filtrado utilizado para el procesamiento de señales, lo cual abarca la implementación de algoritmos de filtrado digital como filtros: filtros FIR (Finite Impulse Response) y fft (Fast Fourier Transform).

Estos algoritmos de filtrado desempeñan un papel crucial en el acondicionamiento de las señales, eliminando el ruido y mejorando la relación señal - ruido para obtener mediciones precisas.

La información recopilada se somete a este proceso de filtrado para la reducción del ruido. Posteriormente, se extraen las señales fundamentales, las cuales revelan el ángulo de desfase, el cual es esencial para el cálculo de la tangente delta.

Por consiguiente se llevará a cabo una comparación rigurosa de los resultados del método simplificado con los valores de referencia establecidos por normas internacionales, garantizando que los datos generados sean fiables y puedan ser utilizados.

## 2.1. Explicación del Método.

El método simplificado para la medición de la  $\tan \delta$  es crucial para evaluar el estado dieléctrico de materiales aislantes. Un valor elevado de la  $\tan \delta$  indica un aumento en la conductividad dieléctrica y la disipación de energía, lo que puede ser un precursor de fallas en el aislamiento [16]. Para emplear el método simplificado propuesto se toma como referencia el trabajo " An alternative method for Partial Discharges measurement using digital filters, ", Quizhpi, [17].

Para el montaje del método propuesto, en la Figura 2.1, se siguen los lineamientos establecidos por las normas IEC 60270, IEEE Std 4-2013, en las que garantizan la precisión y fiabilidad de las mediciones.

Por ello la norma IEC 60270 plantea los circuitos que deben ser utilizados tanto para la medición como para la detección de descargas parciales, se basa en la integración del pulso de corriente lo que da como resultado el valor de la carga aparente, la misma que es similar a la medida del pulso de corriente que provoca la descarga parcial [10].

La normativa en análisis brinda los circuitos de medición directa e indirecta para la detección y medición del método simplificado; el circuito directo se caracteriza por tener la resistencia de medida en serie con el aislante en prueba y el circuito indirecto donde la resistencia de medida se encuentra en serie con el condensador de acoplamiento [10].

El circuito esta conformado por los elementos que se detallan en la Tabla 2.1:

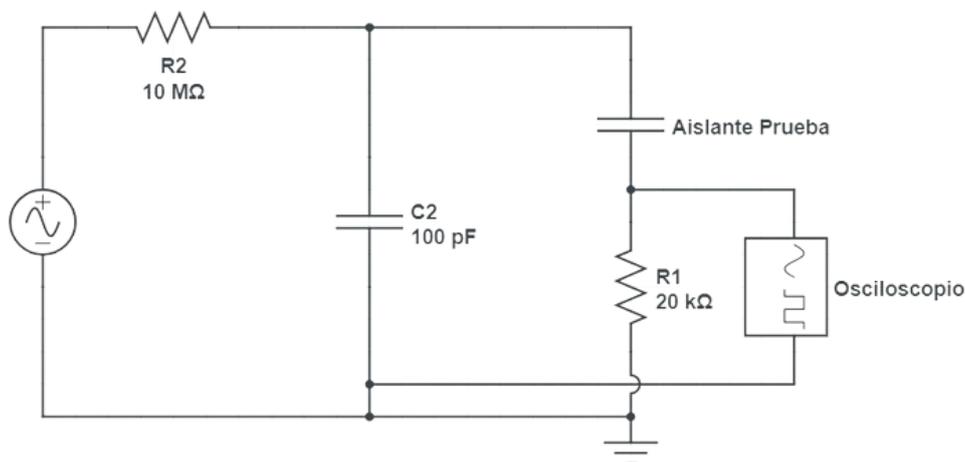


Figura 2.1: Circuito para medición de  $\tan \delta$

Tabla 2.1: Elementos y características de equipos de alto voltaje

Elementos	Marca	Características
Transformador de Prueba HV 9105	TERCO	Proporción: 2/200V/100kV/220V Salida: 5KVA, 10KVA Frecuencia: 50 HZ o 60HZ
Resistencia de Carga HV 9121	TERCO	Voltaje de Impulso: 140 kV Resistencia: 10MΩ
Condensador de Medición HV 9141	TERCO	Voltaje AC: 100 kV Capacitancia: 100 pF
Aislantes de Prueba: Pin Polímero Cable Grilon	GAMMA ENDESA CENTELSA POLIAMIDA	Tensión Nominal: 24kV 28kV 15kV 22kV
Resistencia de 20k Ohms	F. PROPIA	Dos Resistencias en serie de 10k, 5W.
Osciloscopio	GW INSTEX	Velocidad de muestreo de 2 GS/s
Sondas de Atenuación	VARIOS	El rango de compensación de la sonda es de 10 a 50 pf
Banco de Control HV 9103	TERCO	Voltaje de Alimentación: 220-230 V 50/60 HZ
Laboratorio de Alta Tensión	TERCO	100 kV

Por consiguiente, para lograr medir carga eléctrica, la norma IEC 60270 brinda un proceso de calibración, donde, recomienda utilizar el esquema mostrado en la Figura 2.2, el proceso de calibración inyecta un valor de carga eléctrica conocida a la resistencia de medición  $R_m$ , para la generación de una carga eléctrica conocida se hace uso de una señal tipo escalón en serie con un capacitor, el valor de la carga que se obtiene es igual al producto entre el valor del escalón  $U_o$  y el capacitor  $C_o$ , el paso siguiente es medir con el osciloscopio y darle una escala adecuada al valor de carga eléctrica en el osciloscopio para después poder tener mediciones reales de carga eléctrica [10].

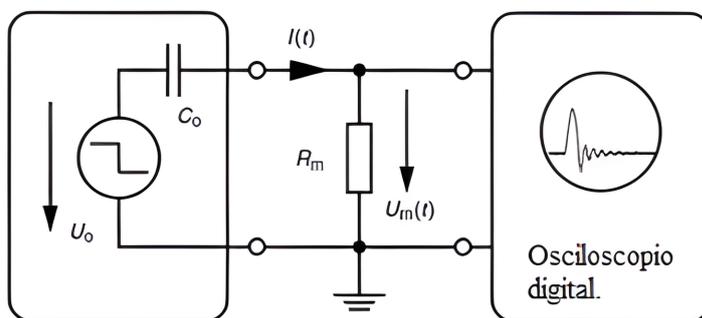


Figura 2.2: Circuito para calibración de escalas [1]

La implementación de un método simplificado para la obtención de la  $\tan \delta$ , se vuelve esencial debido a la realidad económica. A pesar de que existen métodos establecidos para determinar este parámetro con

alta precisión, la mayoría de ellos requiere una inversión significativa en equipos y tecnología avanzada.

## 2.2. Validación del Procesamiento.

El filtro FIR son filtros finitos de respuesta a impulsos, evita la distorsión de fase en las señales. Son estables porque no contienen componentes de retroalimentación. Su implementación es sencilla porque carece de componentes recursivos lo que facilita el diseño y análisis [18].

Un filtro FIR tiene una función de sistema que es un polinomio en  $z^{-1}$ .

$$W(z) = \sum_{n=0}^N w(n)z^{-n} \quad (2.1)$$

Para una entrada  $x(n)$ , la salida es:

$$y(n) = \sum_{n=0}^N w(n)x(n - k) \quad (2.2)$$

Para cada valor de  $n$ , la evaluación de esta suma requiere  $(N+1)$  multiplicaciones y  $N$  adiciones [18].

De igual manera, de forma vectorial la salida  $y(n)$ , se puede representar como:

$$w(n) = \begin{bmatrix} w(0) \\ w(1) \\ w(2) \\ \vdots \\ w(N) \end{bmatrix} \quad x(n) = \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ \vdots \\ x(N) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$y(n) = x(n)^T \times w(n) \quad (2.4)$$

Para iniciar el proceso de validación del código de Matlab, se parte con un ajuste crucial de escalas. Este ajuste es necesario para asegurar la precisión de la data a analizar. Especialmente en:

- **Voltaje:** Se aplica un factor multiplicador de 200 en el osciloscopio, y en el código se multiplica x100 a los valores de voltaje. Esta amplificación es esencial debido a las limitaciones del osciloscopio utilizado, no permite una ampliación directa de la señal.
- **Corriente:** Los valores de corriente se obtienen dividiendo el voltaje medido x 1 para la resistencia de 20,000  $\Omega$ . Esta conversión permite transformar las mediciones de corriente en valores reales.

Estos ajustes permiten generar señales muestrales de corriente y voltaje que abarcan 40,000 datos. Esta cantidad de muestras es suficiente para capturar con precisión las características dinámicas del sistema de la medición de la  $\tan \delta$ .

El filtro FIR se configura con un orden de corte de 318, que son esenciales para especificaciones precisas de frecuencia en aplicaciones de procesamiento de señales digitales [19]. Durante el proceso de filtrado inicial, se observa un error asociado al régimen transitorio. Para mitigar este efecto, se decide analizar únicamente el segundo ciclo de la señal tras la entrada completa de los datos.

Para obtener la cantidad exacta del ciclo que se va a analizar, se obtiene una señal muestreada a 100,000 muestras por segundo (100 ksamples/s), se necesita conocer la frecuencia de la onda senoidal.

La fórmula general para calcular la cantidad de muestras por ciclo es:

$$\text{Muestras por ciclo} = \frac{\text{Frecuencia de muestreo}}{\text{Frecuencia de la señal}} \quad (2.5)$$

Donde:

- Frecuencia de muestreo es la tasa de muestreo de la señal.
- Frecuencia de la señal es la frecuencia de la onda senoidal.

Debido a que la frecuencia de muestreo es 100,000 muestras por segundo y la frecuencia de la señal es 60 Hz:

$$\text{Muestras por ciclo} = \frac{100,000 \text{ muestras/seg}}{60 \text{ Hz}} \approx 1667 \text{ muestras/ciclo} \quad (2.6)$$

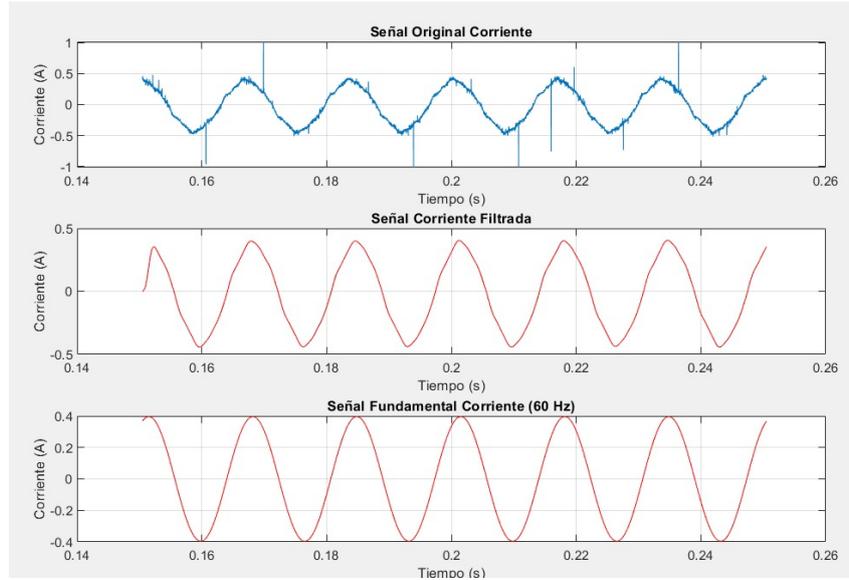


Figura 2.3: Error Transitorio en Señal Corriente Filtrada.

En la Figura 2.3, se muestra la Señal Corriente Filtrada, en donde se puede observar el error transitorio. Luego de realizar las correcciones correspondientes, se selecciona este segmento para un análisis adicional mediante un filtro basado en la serie de Fourier, permitiendo la extracción de la componente fundamental de la señal. Este enfoque facilita una identificación y caracterización precisa del ángulo de desfase.

Este trabajo consta con la obtención de 90 señales muestrales, obtenidas de diferentes materiales que conforman la base de datos.

Para validar el procesamiento del código, se llevó a cabo una comprobación matemática de su rendimiento y precisión. Durante esta validación, los datos se ingresan al sistema y se someten a un primer filtrado. Posteriormente, los datos filtrados se analizan mediante una Transformada de Fourier para extraer las componentes fundamentales a 60 Hz. Esta verificación demostró que el código funciona correctamente y que los resultados obtenidos son precisos.

Fórmulas implementadas en el código de MATLAB.

- Fórmulas empleadas en Excel:

$$v(t) = 5 + 170\text{sen}(wt) + 50\text{sen}(3wt) + 25\text{sen}(7wt) \quad (2.7)$$

$$i(t) = 1 + 10\text{sen}\left(wt - \frac{\pi}{4}\right) + 2\text{sen}\left(3wt - \frac{\pi}{6}\right) + 1\text{sen}\left(5wt - \frac{2\pi}{7}\right) \quad (2.8)$$

En la Figura 2.4, se muestra las dos señales fundamentales de voltaje y corriente con la obtención del ángulo de  $45^\circ$ .

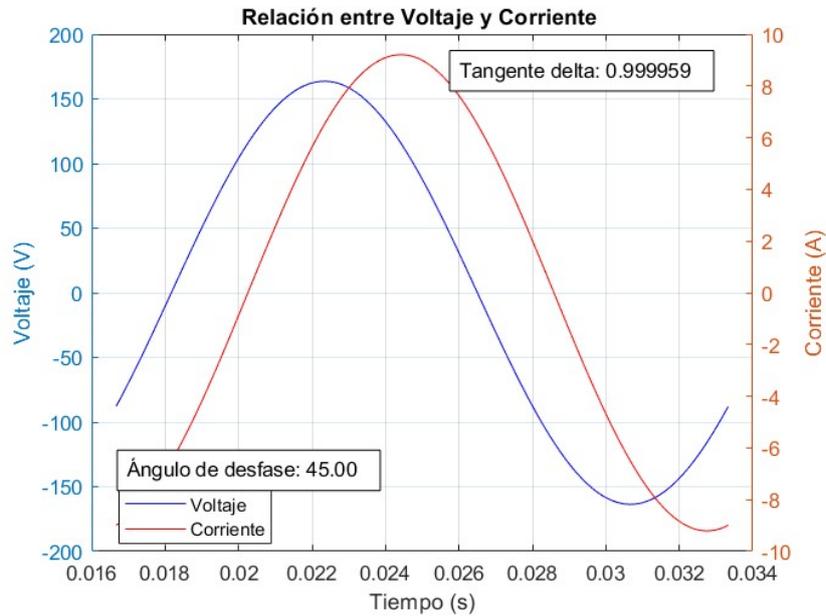
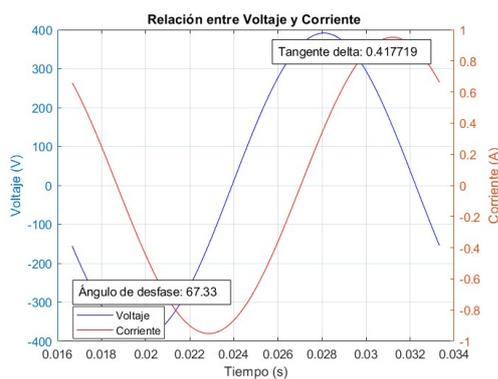


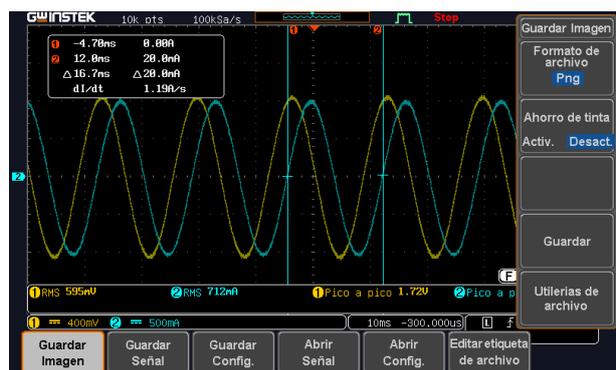
Figura 2.4: Comprobación de modelo matemático.

Adicionalmente, se realizó una prueba con un generador de funciones. Para esta prueba, se utilizó una resistencia  $100 \Omega$  y una inductancia  $0,8 \text{ H}$ . Al introducir la data en el código de MATLAB, se observó que el procesamiento mide correctamente el ángulo de desfase el cual proporcionan una referencia ideal para evaluar la precisión del código.

La Figura 2.5, muestra las señales senoidales obtenidas por el generador de funciones, donde se observa claramente un ángulo de desfase de  $67.33^\circ$ .



(a) Señales Osciloscopio-Generador



(b) Señales Matlab-Generador

Figura 2.5: Señales Voltaje-Corriente-Generador

## 2.3. Validación del Método.

En la Figura 2.6, se detalla el montaje del circuito, resaltando la relevancia de los componentes utilizados y describiendo los pasos necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.

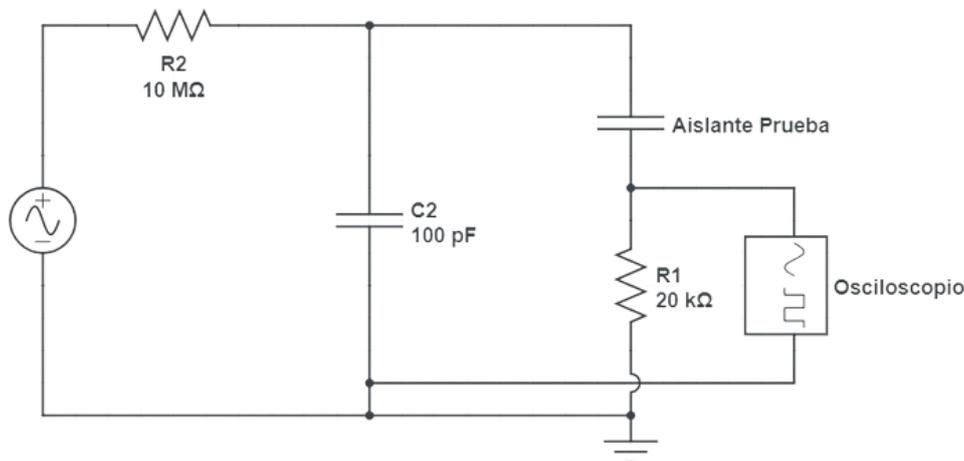


Figura 2.6: Circuito

### Explicación del funcionamiento del circuito:

En el laboratorio de alto voltaje se encuentra un transformador de prueba (HV9105) que se encarga de elevar el voltaje de la red eléctrica a un nivel alto. Este transformador está conectado en serie a una resistencia de  $10\text{ M}\Omega$ , la cual limita la corriente que fluye a través del circuito y protege los componentes electrónicos, en paralelo un capacitor de  $100\text{ pF}$ , el cual almacena energía eléctrica. Este capacitor esta conectado al banco de control en el puerto (HV9150), el cual regula la tensión de salida del transformador y proporciona una interfaz para controlar las pruebas.

En serie al capacitor se encuentra el aislante de prueba, el cual está conectado en paralelo a una varilla aislante. Luego, en serie al aislante de prueba, se conecta una resistencia de  $20\text{ k}\Omega$  (resistencia seleccionada con el propósito para mejorar la calidad de la señal en el osciloscopio), debido que al aumentar la resistencia desde un valor inicial de  $1\text{ K}\Omega$ , se observó una mejora significativa en la visualización de las señales senoidales en el osciloscopio. Finalmente, se conecta en serie a tierra para completar el circuito de medición y visualización de corriente.

El osciloscopio visualiza las formas de onda de la tensión y la corriente del elemento a prueba. Al analizar estas formas de onda, se puede obtener información sobre el comportamiento del elemento a prueba bajo diferentes condiciones de operación.

## 2.4. Aplicación del Método en distintos Aislantes.

Este método simplificado está diseñado para evaluar la capacidad dieléctrica de diversos materiales aislantes, como: Pin, Polímero, Grilón y Cable, tanto en su estado nuevo como deteriorado. El objetivo principal es analizar su comportamiento bajo voltajes cercanos a sus valores nominales sin alcanzar la ruptura dieléctrica, ya que esta ruptura no forma parte de la investigación. Esta evaluación proporciona información valiosa sobre la eficiencia y durabilidad de los aislantes, ofreciendo datos cruciales para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo.

En el Tabla 2.2, se presenta los valores nominales de los materiales aislantes a probar.

Tabla 2.2: Voltajes nominales

Elementos	Voltaje Nominal
Pin	24 kV
Polímero	28 kV
Cable	15 kV
Grilon	22 kV

**Pin:** Los pines se utilizan comúnmente para establecer conexiones eléctricas en circuitos, por lo que es crucial evaluar su comportamiento dieléctrico para asegurar que no haya pérdidas significativas de energía. La medición del factor de disipación,  $\tan \delta$ , en los pines garantiza que mantengan una conexión estable y confiable sin degradación dieléctrica. Esto es esencial para asegurar la eficiencia y la durabilidad de los sistemas eléctricos [20].

**Polimérico:** Los polímeros son ideales como aislantes debido a sus excepcionales propiedades dieléctricas, lo que permite evaluar su capacidad de aislamiento eléctrico mediante la medición del factor de disipación ( $\tan \delta$ ). Además, su flexibilidad y durabilidad los hacen indispensables en una amplia gama de aplicaciones, que van desde cables hasta componentes electrónicos. Estas características los convierten en materiales versátiles y eficientes para diversas industrias [21].

**Cable:** Los cables son fundamentales para la transmisión de energía y señales. La  $\tan (\delta)$ , es un indicador crucial de las pérdidas dieléctricas en los materiales de los cables. Medir la  $\tan \delta$  en los cables asegura su seguridad y eficiencia, reduciendo las pérdidas de energía y previniendo fallos eléctricos. Este control es vital para mantener la integridad y el rendimiento óptimo de los sistemas eléctricos [22].

**Grilon:** El Grilon se emplea en aplicaciones avanzadas debido a sus excepcionales propiedades mecánicas y dieléctricas. La medición del factor de disipación ( $\tan \delta$ ), en Grilon permite evaluar su rendimiento bajo condiciones adversas, garantizando que conserve sus características aislantes y mecánicas [23].

Con los aislantes mencionados anteriormente, se llevo a cabo las pruebas bajo distintas condiciones ambientales, siguiendo estándares específicos para cada tipo de prueba. Estas pruebas incluyeron escenarios en seco, lluvia y contaminación, con el objetivo de determinar propiedades dieléctricas.

## 2.5. Prueba en Seco

Las pruebas en seco son una parte crucial de la evaluación de la resistencia y durabilidad de los equipos eléctricos y electrónicos en condiciones de alta temperatura y baja humedad.

El ítem 11 de IEEE Std 4-2013, exige que el objeto de ensayo sea seco y limpio para evaluar ensayos en varios ambientes. La prueba debe realizarse a temperatura ambiente si no se especifica, para garantizar resultados consistentes y confiables y proporcionar una base para evaluar la calidad y durabilidad de los materiales y equipos.

### 2.5.1. Selección del nivel de aislamiento estándar del equipo

El nivel de aislamiento estándar del equipo generalmente viene dado por un conjunto de dos voltajes soportados estándar. Para equipos en Clase I (15 *kV* a 242 *kV*), el nivel de resistencia de aislamiento estándar viene dado por el siguiente: La tensión soportada de baja frecuencia y corta duración. El nivel básico de aislamiento de impulso tipo rayo (BIL). Los voltajes soportados estándar para equipos en Clase I están tomados de ANSI C84.1-2006, con la excepción de que para medias tensiones la Tabla 2.3 comienza con 15 *kV* en lugar de 1 *kV* [2].

Tabla 2.3: Voltage levels and insulation requirements [2].

Maximum system voltage (phase-to-phase) kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest	Low-frequency short-duration withstand voltage* (phase-to-ground) kV, rms
15	95	34
26.2	125	40
36.2	150	50
	200	70
48.3	250	95
	250	95
72.5	350	140
	350	140
	450	185
	550	230
145	450	185
	550	230
	650	275
	750	325
169	650	275
	750	325
	850	360
	950	395
242	750	325
	850	360
	900	395
	975	460
	1050	460

Es esencial seguir normas internacionales como la IEC 60243 y la IEEE Std 4-2013, para garantizar que los materiales aislantes y sus componentes sean seguros y eficientes cuando se utilizan en una variedad de aplicaciones eléctricas y electrónicas [2] [13]. La rigidez dieléctrica, que es la capacidad de un material aislante para soportar un campo eléctrico intenso sin sufrir una ruptura dieléctrica. Este estándar se aplica a compuestos sólidos como plásticos, cerámicas y otros que se utilizan en la fabricación de equipos eléctricos [13].

### **2.5.2. Procedimiento para el ensayo en seco**

Se arma el circuito ya mencionado en el apartado 2.3, donde se valida el método de ensayo propuesto. Este circuito es esencial para la correcta realización de las pruebas, que incluyen no solo la evaluación en seco, sino también la prueba en condiciones de humedad y la prueba en contaminante. Al concluir las pruebas en seco y analizar los datos recolectados, se establece una base sólida para comparar el rendimiento de los aislantes en las tres condiciones de prueba. Esta comparación es fundamental para evaluar la durabilidad de los materiales en y su comportamiento ante diferentes factores ambientales.

## **2.6. Prueba en Lluvia**

El ensayo en condiciones de humedad tiene como propósito simular situaciones reales donde el equipo puede estar expuesto a ambientes húmedos o lluvia. Esto es crucial para asegurar que los aisladores y otros componentes eléctricos puedan mantener su integridad y desempeño bajo dichas condiciones se aplicó el procedimiento descrito en IEEE Std 4-2013.

Los materiales aislantes deben ser capaces de resistir altos voltajes sin sufrir daños o permitir la descarga eléctrica, pero esta rigidez dieléctrica en los aisladores se ve afectada cuando entran en contacto con la humedad.

Debido a que la lluvia natural no puede ser reproducida de manera exacta, el ensayo en condiciones de humedad tiene como objetivo proporcionar un punto de referencia de laboratorio que permita relacionar el rendimiento del equipo bajo condiciones de precipitación controladas, utilizando el equipo desarrollado por Ochoa y otros [24] [2]. En la Tabla 2.4, se detallan las especificaciones de los diferentes procedimientos de ensayo en condiciones húmedas.

### **2.6.1. Selección del nivel de aislamiento estándar del equipo**

La selección del nivel de aislamiento estándar del equipo es un paso crítico en la realización de ensayos en húmedo, especialmente en el contexto del IEEE Std 4-2013. Este estándar establece los criterios necesarios para determinar el nivel adecuado de aislamiento que un equipo debe cumplir para garantizar su operación segura y eficiente en diversas condiciones ambientales.

Tabla 2.4: Condiciones de precipitación (procedimientos estándar y convencionales) [2].

Procedimiento	Tasa de precipitación (mm/min)			Parámetros del agua recogida		Duración de la prueba de resistencia al agua (s)
	Componente vertical	Componente horizontal	Límites para cualquier medición individual	Temperatura (°C)	Resistividad ohm-m [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	
Procedimiento de prueba estándar	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0	$\pm 0,5$ del promedio	Ambiente $\pm 15$	$100 \pm 15$	60
Práctica europea anterior	$3 \pm 0,3$	–	$3 \pm 0,75$	Ambiente $\pm 15$	$100 \pm 10$	60
Práctica anterior en EE.UU.	$5 \pm 0,5$	–	$5 \pm 1,25$	Ambiente $\pm 15$	$178 \pm 27$	10

Es fundamental considerar las especificaciones del fabricante y las normativas aplicables, que proporcionan lineamientos claros sobre los niveles mínimos de aislamiento requeridos para diferentes aplicaciones.

En el contexto del ensayo en húmedo, el nivel de aislamiento seleccionado debe ser capaz de soportar no solo las tensiones operativas normales, sino también las tensiones transitorias que pueden surgir debido a condiciones climáticas adversas, como lluvia intensa o alta humedad. Para esto, se realiza un análisis detallado de la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes, asegurando que cumplan con los requisitos de seguridad establecidos.

Durante la selección del nivel de aislamiento, se toman en cuenta las propiedades específicas de los aislantes a evaluar, como la capacidad de resistir la permeabilidad al agua y la estabilidad térmica. Esta selección no solo garantiza el funcionamiento seguro del equipo, sino que también proporciona una base para la evaluación de su rendimiento durante las pruebas en húmedo.

Finalmente, la correcta selección del nivel de aislamiento estándar permite establecer un marco de referencia para la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos, asegurando que se cumplan los estándares internacionales y que los materiales evaluados sean aptos para su uso en aplicaciones eléctricas y electrónicas en condiciones de alta humedad.

## 2.6.2. Preparación del objeto de ensayo

Sustentado en el Std 4-2013, el objeto de ensayo debe ser limpiado minuciosamente lavándolo con agua a la que se le haya añadido un detergente neutro, como fosfato trisódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_3$ ), y luego enjuagándolo con agua limpia. No se debe manipular con las manos después de este proceso. Normalmente, se puede considerar que las superficies aislantes están adecuadamente limpias y libres de grasa u otros contaminantes si se observan áreas extensas y continuas de humedad durante la humectación.

### 2.6.3. Procedimiento de humectación de prueba húmeda

El objeto de prueba debe rociarse con agua, de resistividad prescrita, cayendo sobre él en forma de gotas y dirigido de modo que los componentes vertical y horizontal de la intensidad de pulverización sean aproximadamente iguales. El recipiente colector debe colocarse cerca del objeto de ensayo, pero en una posición que impida la acumulación de gotitas o salpicaduras del mismo. Durante el período de medición, el recipiente colector debe moverse lentamente sobre un área suficiente para promediar el efecto de la falta de uniformidad de la pulverización de las boquillas individuales.

La norma pertinente del aparato especificará la posición del objeto de ensayo en relación con los componentes de lluvia vertical y horizontal. En el caso de objetos de prueba con una altura superior a 1 m, dichas mediciones deben realizarse cerca de la parte superior, central e inferior del objeto [2].

### 2.6.4. Procedimiento para Iniciar la prueba de Ensayo en Húmedo

Para llevar a cabo el ensayo en húmedo, es fundamental iniciar el proceso con la adecuada preparación del agua, que consiste en un reposo controlado en el tanque de reserva durante un intervalo de tres días. Este tiempo de estabilización es crucial, ya que permite que las propiedades fisicoquímicas del agua se ajusten a condiciones óptimas para la prueba.

Una vez completado el periodo de reposo, se procede a la evaluación de la conductividad del agua. Se toma una muestra representativa de este líquido y se somete a un análisis de conductividad eléctrica. Es imperativo que los valores obtenidos se sitúen dentro de un rango de error de  $\pm 15$  de 100 de conductividad. Esta medida es indicativa de la pureza del agua y su idoneidad para el ensayo.

Si la conductividad se encuentra fuera del rango especificado, será necesario implementar una corrección mediante la adición controlada de sal al agua, lo que permite ajustar su conductividad a niveles aceptables. En caso de que los valores se encuentren dentro de los límites permitidos, se puede proceder sin necesidad de realizar modificaciones adicionales.

Posteriormente, se establece la conexión entre el tanque de reserva y la cámara de lluvia mediante una tubería diseñada específicamente para este propósito. Esta configuración asegura que el agua se dirija de manera eficiente hacia el aislante a evaluar, permitiendo una correcta simulación de las condiciones de lluvia durante el ensayo.

Antes de proceder al acoplamiento del sistema, es esencial montar el circuito eléctrico que ha sido detallado en el apartado 2.3, donde se valida el método de ensayo propuesto. Este circuito es fundamental, ya que permite el control y monitoreo de las variables necesarias durante la prueba.

Finalmente, tras el montaje del circuito, se procede al acoplamiento de este sistema a la cámara de lluvia. Con estas etapas completadas, se establece que el sistema está preparado para iniciar el ensayo en húmedo, evaluando de manera sistemática el rendimiento de los diferentes tipos de aislantes, específicamente el pin y el polímero, bajo condiciones controladas de humedad.

## 2.7. Prueba en Contaminante

La prueba de contaminación, según IEEE Std 4-2013, es una prueba diseñada para evaluar la capacidad de los equipos eléctricos para mantener la integridad eléctrica y la funcionalidad en presencia de contaminantes ambientales.

La prueba simula condiciones operativas adversas en las que los contaminantes se acumulan en las superficies del equipo. El riguroso protocolo implica probar el equipo en un entorno controlado con contaminantes definidos y aplicar una tensión de prueba para evaluar la resistencia eléctrica [2] [25].

Las pruebas de contaminación se dividen en dos categorías. Para la implementación del Método se optó por realizar la prueba que se menciona en el literal a):

a) El método de ensayo de la capa sólida, en el que se deposita una capa bastante uniforme de una contaminación sólida definida sobre la superficie del aislante

b) El método de ensayo de niebla salina, en el que el aislante se somete a una contaminación ambiental definida.

### 2.7.1. El método de ensayo de la capa sólida

En el que se deposita una capa bastante uniforme de una contaminación sólida definida sobre la superficie del aislante. La prueba se puede realizar con voltaje alterno o voltaje continuo.

Se aplica una capa de contaminación a la superficie del aislante utilizando una lechada que consiste en agua, un material inerte como el caolín y una cantidad adecuada de cloruro de sodio (NaCl) para lograr la densidad de depósito de sal o la conductividad de la capa requerida [2][25].

### 2.7.2. Preparación del aislador

Antes de realizar la primera prueba de contaminación, los aisladores se limpiarán frotando las superficies de aislamiento con un material inerte como el caolín, después de lo cual el aislador debe enjuagarse a fondo con agua limpia. Antes de cada prueba de contaminación posterior, el aislador debe lavarse a fondo nuevamente solo con agua del grifo [2][25].

- Preparación del contaminante:

- 40 g de caolín
- 1000 g de agua del grifo
- Una cantidad adecuada de NaCl de pureza comercial

Cuando la conductividad volumétrica del agua es superior a 0,05 S/m, se recomienda el uso de agua desmineralizada. Para alcanzar el grado de referencia de contaminación en el aislador sometido a ensayo ( $\pm 15\%$ ), se determinará un valor adecuado de conductividad volumétrica de la suspensión preparada sometiendo el propio aislador (o parte de él) a ensayos preliminares de contaminación [25].

La conductividad volumétrica deseada se logra ajustando la cantidad de sal de 0.100 de la Tabla 2.5, donde muestra la correspondencia entre el grado de contaminación de referencia en el aislador y la conductividad volumétrica cuando la temperatura del purín es de 20°C (en el caso de aisladores estándar de tapa y pasador contaminados en posición vertical en condiciones ambientales normales) [2].

Tabla 2.5: Composición del caolín [2] .

Salt deposit density $S_{dd}$ (mg/cm <sup>2</sup> )	Layer conductivity $K_{20}$ ( $\mu$ S)	Volume conductivity of the slurry $\sigma_{20}$ (S/m)
0.025	3.0	1.0
0.035	4.2	1.4
0.060	5.5	2.0
0.070	8.0	2.8
0.100	11.0	4.0
0.140	14.5	5.6
0.200	20.0	8.0
0.280	27.0	11.2
0.400	37.0	16.0

### 2.7.3. Aplicación de la capa de contaminante

La capa de contaminación se aplica a la lechada sobre el seco aislante previamente limpiado, o el aislador puede sumergirse en la leche siempre posible. La capa artificial se puede aplicar sobre la superficie del aislante rociando la lechada a través de una o dos boquillas de una pistola rociadora de tipo comercial.

La distancia de las boquillas debe ajustarse para garantizar una capa razonablemente uniforme. El tiempo de recubrimiento se puede reducir precalentando el aislador. Otras técnicas son adecuadas, como la práctica de inundar la lechada preparada sobre la superficie del aislador o aplicar la contaminación

con un pincel pequeño. El procedimiento anterior se utiliza en algunos laboratorios como una alternativa más fácil al método de pulverización o inmersión [2] [25].

#### 2.7.4. Recomendaciones adicionales para el método de ensayo en capa sólida

Las siguientes sugerencias adicionales profundizan en las prácticas de la prueba de capa sólida, estableciendo normas para los controles auxiliares durante las pruebas y evitando que los usuarios que aún no son lo suficientemente expertos realicen las pruebas de manera que pueda conducir a errores.

#### 2.7.5. Secado de la capa de contaminación

El secado natural de la capa de contaminación en el aislador puede ser suficiente siempre que dure lo suficiente (6h a 8h), mientras que la humedad relativa alrededor del aislador se mantenga no superior al 70%. Los valores inferiores permiten tiempos de secado más cortos. Si utiliza aire caliente para acelerar el secado, el método de producción de aire no debe dar lugar a la deposición de material que afecte a la humectación de la superficie del aislante o al grado de contaminación [2].

#### 2.7.6. Procedimiento para el ensayo en contaminación

Después de comprender las normas aplicables, se procede a la preparación de la capa contaminante, considerando todos los factores relevantes para obtener la capa adecuada. Para determinar la cantidad de NaCl, se toma como referencia la La Tabla 2.5, seleccionando un nivel intermedio de contaminación, esta elección se fundamenta en las características climáticas de nuestra ubicación. De este modo, la concentración de NaCl se ajusta a un valor que corresponde a un entorno ni excesivamente húmedo ni excesivamente seco.

Se realizaron los cálculos necesarios para cada componente de la mezcla. A continuación, se detallan las cantidades exactas de cada elemento necesario para la preparación del contaminante:

- Caolín: 600 *g*
- Agua del grifo: 15 *Lt*
- NaCl: 1.5 *g*

La prueba se centra en polímero y pin debido a su capacidad específica de repeler el agua. Posteriormente, considerando las cantidades determinadas previamente, se procedió a la mezcla de los componentes y a la contaminación de los aislantes. Este proceso se realizó con el conocimiento de que los aislantes requieren un período de secado de 6 a 8 horas para alcanzar condiciones óptimas antes de la prueba.

Y para finalizar con este ensayo, es fundamental montar el circuito eléctrico detallado en la sección 2.3, donde se valida el método de ensayo propuesto, luego se lleva a cabo la medición de la  $\tan \delta$ , siendo este un parámetro crítico que evalúa la calidad dieléctrica de los materiales aislantes y su capacidad para resistir pérdidas eléctricas bajo condiciones de estrés. Este procedimiento asegura la precisión y la reproducibilidad de los resultados, proporcionando datos confiables para el análisis de la eficiencia del aislamiento en diversas condiciones ambientales.

## CAPITULO 3

# RESULTADOS

### 3.1. Medición de la Tangente Delta en Aislantes.

En esta sección se abordarán los resultados de las pruebas de  $\tan \delta$  llevadas a cabo bajo diversas condiciones ambientales. Se realizaron seis pruebas en cada condición: seco, lluvia y contaminante, cada una adaptada a las necesidades específicas de su entorno correspondiente.

Se ha optado por la selección de las pruebas más apropiadas para cada entorno particular en el análisis a realizar. La prueba 6 elegida para el ambiente seco, la prueba 5 para el ambiente húmedo y la prueba 3 para evaluar la presencia de contaminantes, seleccionadas en base a la minimización de errores.

A través del análisis detallado de estas pruebas, se obtiene un panorama exhaustivo del desempeño del material aislante, obteniendo la información para la evaluación de su estado.

Es relevante resaltar que la elección de las pruebas con menores niveles de error se realiza con propósitos ilustrativos. Un enfoque completo de análisis debe contemplar todas las pruebas ejecutadas en cada ambiente, garantizando una comprensión integral del comportamiento del aislamiento.

La Tabla 3.1, presenta los valores típicos de la  $\tan \delta$  para diversos tipos de materiales aislantes. Aunque se encontraron variaciones en los valores en distintos estándares, se utiliza una fuente específica que se considera fiable y de fácil referencia garantizando una correcta citación.

Tabla 3.1: Valores estándar de propiedades eléctricas de algunos materiales aislantes sólidos [3].

Materiales y su Clasificación		Permitividad Relativa $\epsilon_r$ (50Hz, 20°C)	Tangente de pérdida $\tan \delta$ (50Hz, 20°C)	Resistencia Específica de Aislamiento $\rho$ ( $\Omega \cdot cm$ ) (20°C)	Resistencia Térmica Específica* $\sigma$ (°C cm/W)
Cerámicas	Porcelana	5-6,5	$20 \cdot 10^{-3}$	$10^{11}-10^{12}$	70-125
	Esteatita	-	$2 \cdot 10^{-3}$	-	40-50
Vidrio	No alcalino y Vidrio-E	3,8-10	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$10^{13}$	85-135
Polímeros Termoplásticos	Cloruro de Polivinilo (PVC) (Compuesto de aislamiento de cable)	5,0-5,3	$30-100 \cdot 10^{-3}$	$10^{16}$	600-700
	Polietileno (PE)	2,3	$0,1-0,2 \cdot 10^{-3}$	$10^{17}$	350
Polímeros Termoestables	Resina Epoxi Bisfenol-A	Puro 3,5 con relleno 5,8	$33 \cdot 10^{-3}$	-	-
	Goma de Silicona (SIR)	2,8-6,0	$5-10 \cdot 10^{-3}$	$10^{13}-10^{15}$	500
Dieléctricos Compuestos	Papel de cable impregnado en aceite	3,5-3,9	$(2,6-3,0) \cdot 10^{-3}$	$10^{15}$	550

### 3.1.1. Ensayo en Seco

Para la medición de la  $\tan \delta$  del ensayo en seco, se debe considerar el análisis de todos los aislantes mencionados en el Capítulo 2, sección 2.4.

En la Tabla 3.2, se presenta los datos, cada aislante se encuentra detallado con todos sus valores analizar.

Tabla 3.2: Tabla de datos en seco

Material	Estado	Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado Max (V)	Corriente Procesada (A)	Temp °C	Humedad Relat (%)	Presión Atmos (hPa)
Grilón	-	21,85	21877.1791	1,23E-02	20,40	51,00	753,30
Cable	Nuevo	4,20	4240.0154	0.00012916	20,50	52,00	753,30
	Viejo	3,50	3541.5515	0.00011336	20,60	51,00	753,20
Pin	Nuevo	16,40	16267.497	0.00010395	20,60	51,00	753,30
	Viejo	16,45	16315.783	9,16E-01	20,60	51,00	753,20
Polímero	Nuevo	17,61	17439.091	7,13E-02	20,80	51,00	753,10
	Viejo	17,07	16958.8061	6,95E-03	20,70	50,00	753,10

## ■ GRILÓN

La  $\tan \delta$  puede variar dependiendo de la composición específica del material al igual que las condiciones de operación como temperatura, frecuencia y humedad. El Grilón tiene un valor de  $\tan \delta$  (0.02 - 0.04), lo que indica buenas propiedades aislantes.

Para iniciar el proceso de obtención de la  $\tan \delta$  se toma el ángulo de desfase que se encuentra en la Figura 3.2.

- La  $\tan \delta$  se calcula a partir del ángulo de desfase usando la relación trigonométrica:

$$\tan \delta = \tan (90^\circ - \phi) \quad (3.1)$$

Dado a que el ángulo de desfase es  $92,55^\circ$  para obtener su cálculo se reemplaza en la Fórmula 3.1:

$$\phi = 92,55^\circ \quad (3.2)$$

$$\tan \delta = \tan(90^\circ - 92,55^\circ) = \tan(-2,55^\circ) \quad (3.3)$$

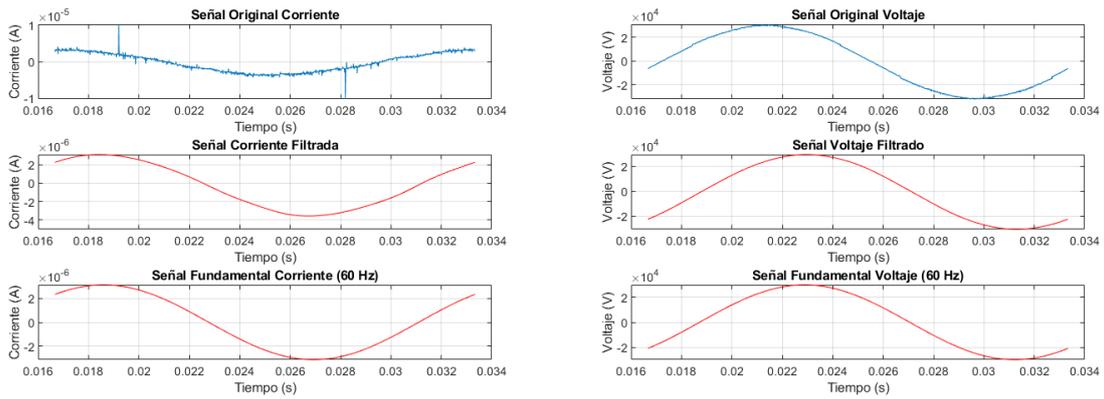
$$\tan(-2,55^\circ) \approx -\tan(2,55^\circ) \quad (3.4)$$

Cálculo del valor de la tangente  $\delta$ :

$$\tan(2,55^\circ) \approx 0,0445 \quad (3.5)$$

El valor de la  $\tan \delta$  es una medida de pérdidas y debe ser positiva, tomando el valor absoluto:

$$\tan \delta \approx 0,0445 \quad (3.6)$$



(a) Corriente - Grilón

(b) Voltaje - Grilón

Figura 3.1: Señal Voltaje-Corriente- Grilón

En el análisis de la Figura 3.1, se presentan las señales de voltaje y corriente, las cuales han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Proporcionando el ángulo de desfase necesario.

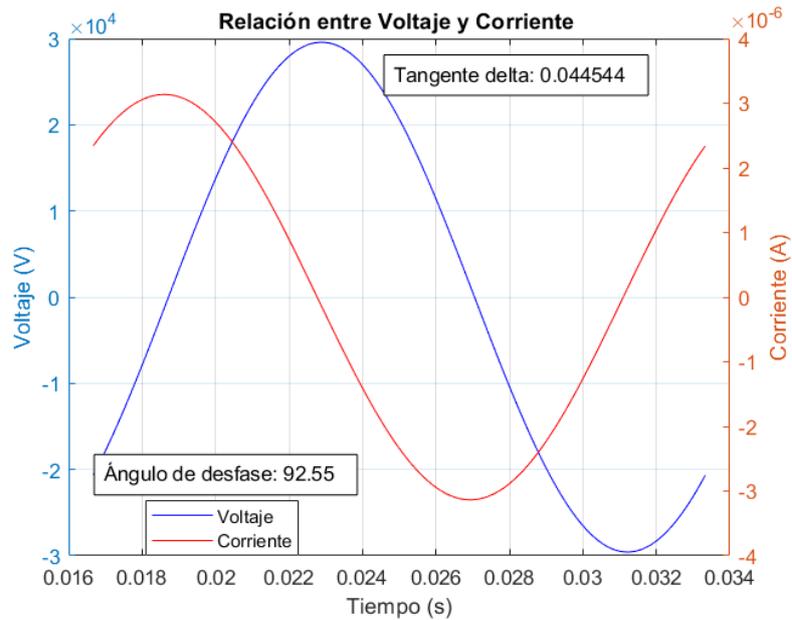


Figura 3.2: Relación Voltaje-Corriente, Grilón.

En la Figura 3.2, se observa el ángulo de desfase previamente mencionado, utilizado para calcular matemáticamente la  $\tan \delta$ . Al comparar el valor obtenido de 0,0445 con (0.02-0.04), es ligeramente superior a lo indicado, lo que sugiere que el material tiene pérdidas dieléctricas, algo inusual para un aislante nuevo.

## ■ CABLE

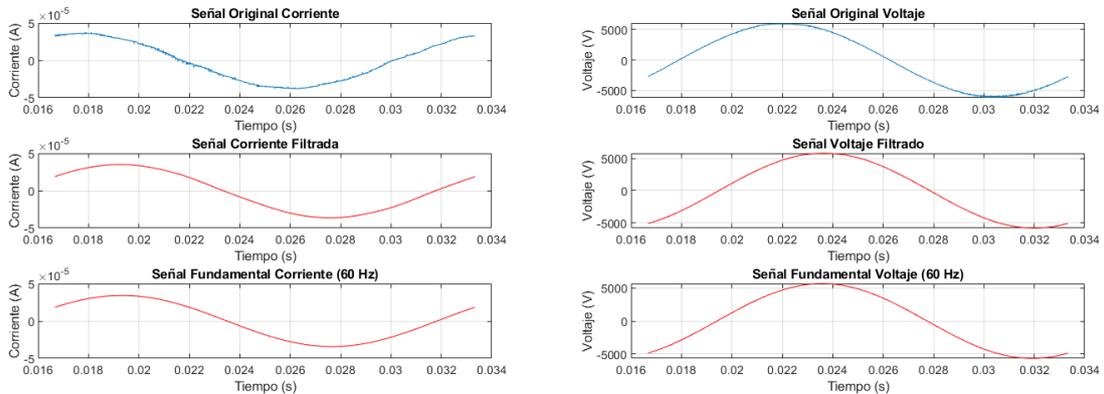
La  $\tan \delta$  del Cable XLPE #2 de 15kV para Alta Tensión, compara la diferencia de aislamiento que tiene un nuevo con un deteriorado basado en el cálculo de ángulo de desfase de cada uno, contrastándolo con valores estipulados en la Tabla 3.3.

Se utilizarán los ángulos de desfase de las Figuras 3.5, Figura 3.6, para el cálculo la  $\tan \delta$  basándose en las fórmulas antes ya mencionadas en la sección 3.1.1 (Grilón), donde se encuentra el cálculo detallado.

$$\tan \delta \approx 0,0308 \quad \text{Cable} - \text{nuevo.} \quad (3.7)$$

$$\tan \delta \approx 0,0271 \quad \text{Cable} - \text{deteriorado.} \quad (3.8)$$

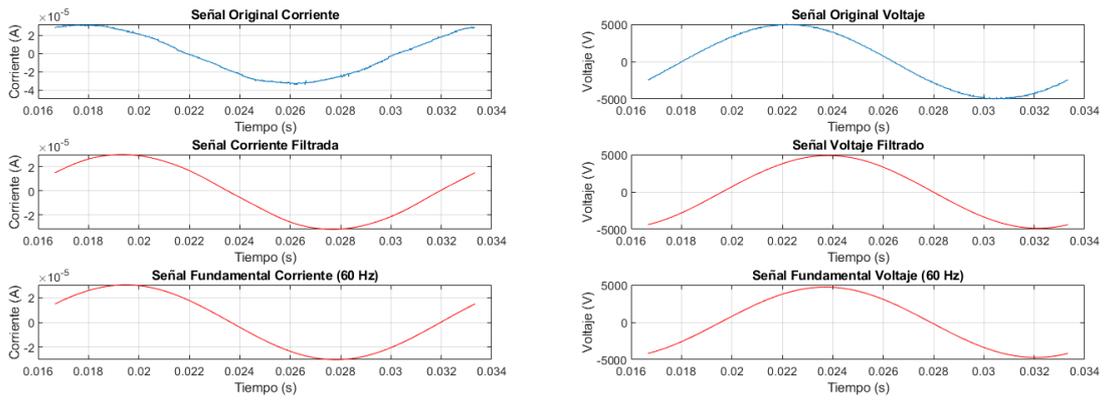
En la Figura 3.3, Figura 3.4 se encuentra las señales de voltaje y corriente en cable nuevo - cable deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales nos proporcionan el ángulo de desfase.



(a) Corriente-Cable-nuevo

(b) Voltaje-Cable-nuevo

Figura 3.3: Señales Voltaje-Corriente-Cable-nuevo



(a) Corriente-Cable-deteriorado

(b) Voltaje-Cable-deteriorado

Figura 3.4: Señales Voltaje-Corriente-Cable-deteriorado

En la Figura 3.5, Figura 3.6 presentan los ángulos de desfase previamente mencionados, utilizados para calcular matemáticamente la  $\tan \delta$ .

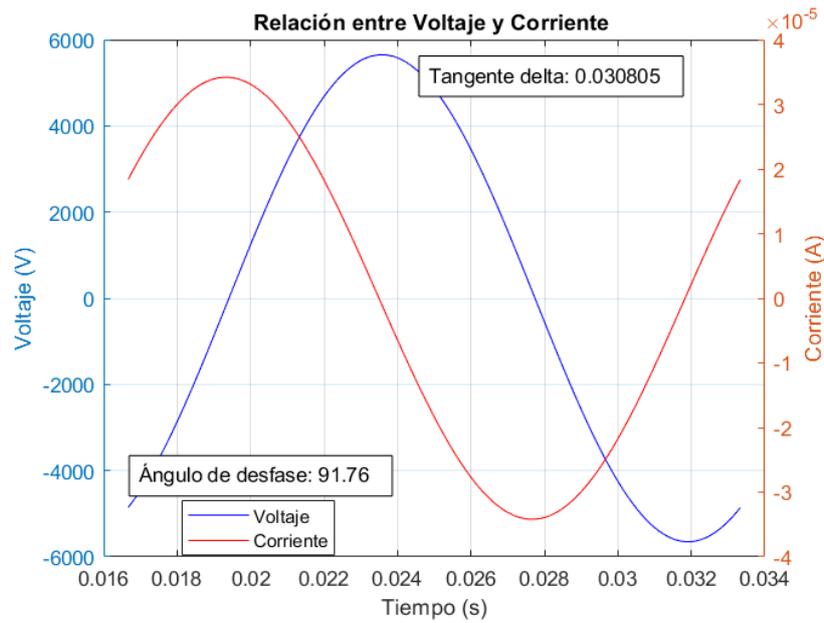


Figura 3.5: Relación voltaje-corriente, Cable-nuevo.

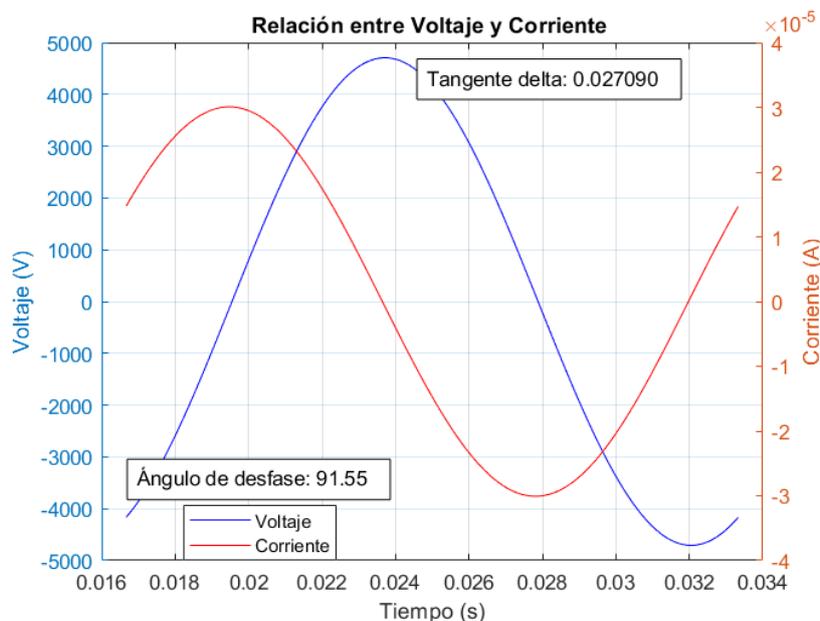


Figura 3.6: Relación voltaje-corriente, Cable-deteriorado.

El valor de  $\tan \delta$  en el cable nuevo es 0,0308 y en el cable deteriorado es 0,0271, son valores indicativos de pérdidas dieléctricas considerables en ambos cables, aunque el cable nuevo tiene una tangente delta ligeramente mayor que el cable deteriorado, lo cual es contradictorio.

El análisis es basado en la Tabla 3.3 que proporciona información sobre las ventajas y desventajas de diferentes métodos de prueba para medir  $\tan \delta$ .

Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de las mediciones de  $\tan \delta$  para diferentes fuentes de voltaje [4]

Tipo de Fuente	Ventajas	Desventajas
CA Offline Simulada Continua (20 Hz a 300 Hz)	Las mediciones se pueden realizar a frecuencia de potencia (50/60 Hz)	Tan delta es más difícil de medir a 50/60 Hz que a frecuencias más bajas debido a la mayor magnitud de la corriente capacitiva.
CA de Muy Baja Frecuencia (VLF 0.01 Hz a 1.0 Hz)	Al variar el voltaje de prueba en VLF, se puede establecer la dependencia de tan delta. Los cambios de envejecimiento del aislamiento son más visibles al aplicar mediciones de tan delta a frecuencias más bajas que la frecuencia de potencia.	El mecanismo de pérdida en VLF es diferente del que se da bajo voltaje de servicio a CA 50/60 Hz y debe tenerse en cuenta al evaluar los resultados de la prueba.
CA Amortiguada (DAC 20 Hz a 500 Hz)	Los resultados son una aproximación del factor de disipación a los obtenidos de voltajes CA continuos (20 Hz a 300 Hz) (el decaimiento de voltajes DAC está directamente relacionado con las pérdidas dieléctricas en el aislamiento del cable) que pueden ser comparables (dentro de algunas frecuencias de prueba DAC).	La aproximación de los valores del factor de disipación con un umbral de medición está en el rango de $1 \times 10^{-3}$ (0.1%). En el caso de un cable muy corto, se recomienda una carga capacitiva adicional (con muy bajas pérdidas) para asegurar que la frecuencia de voltaje permanezca en el rango apropiado.

## ■ PIN

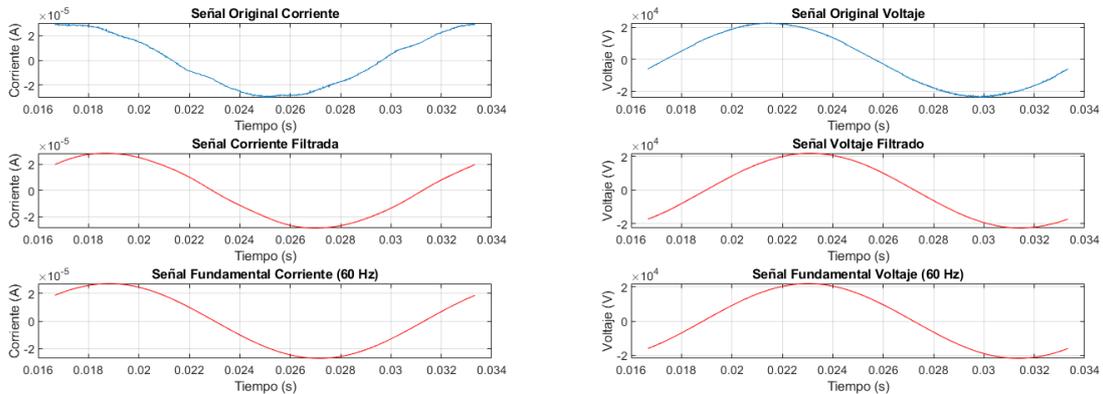
Para el pin ANSI 56-1, la tangente delta estándar proporciona una referencia para determinar la eficiencia y el estado del aislamiento. Las pruebas experimentales realizadas han arrojado una tangente delta correspondiente a un ángulo de  $90,85^\circ$  para un pin en buen estado, y un ángulo de  $84,06^\circ$  para un pin deteriorado.

Se utilizarón los ángulos de desfase de las Figuras 3.9, Figura 3.10, para el cálculo la  $\tan \delta$  basándose en las fórmulas antes ya mencionadas en la sección 3.1.1 (Grilón), donde se encuentra el cálculo detallado.

$$\tan \delta \approx 0,0148 \quad \text{Pin} - \text{nuevo.} \quad (3.9)$$

$$\tan \delta \approx 0,1041 \quad \text{Pin} - \text{deteriorado.} \quad (3.10)$$

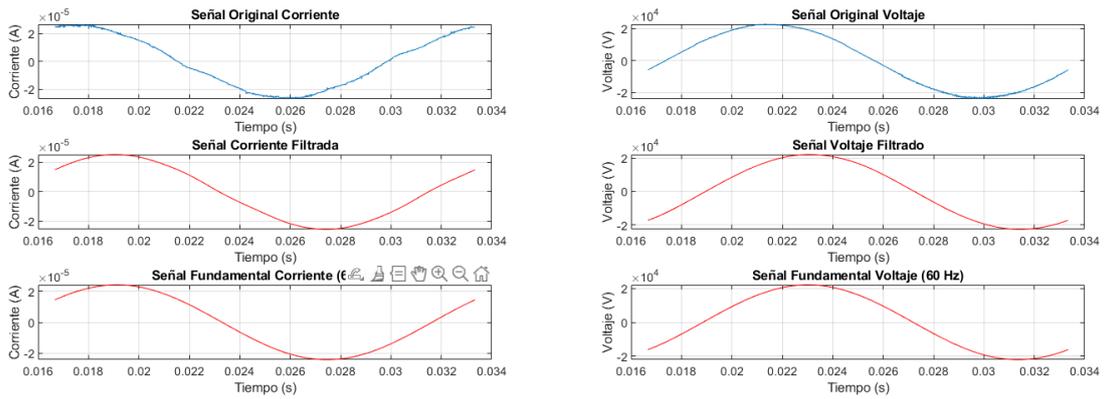
La Figura 3.7, Figura 3.8 son las señales de voltaje y corriente en Pin nuevo - Pin deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Proporcionando el ángulo de desfase.



(a) Corriente-Pin-nuevo

(b) Voltaje-Pin-nuevo

Figura 3.7: Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo



(a) Corriente-Pin-deteriorado

(b) Voltaje-Pin-deteriorado

Figura 3.8: Señales Voltaje-Corriente-Pin-deteriorado

En la Figura 3.9, Figura 3.10 se presentan los ángulos de desfase previamente mencionados, utilizados para calcular matemáticamente la  $\tan \delta$ . La divergencia observada entre los valores son significativamente mayores que el valor ideal de la Tabla 3.1

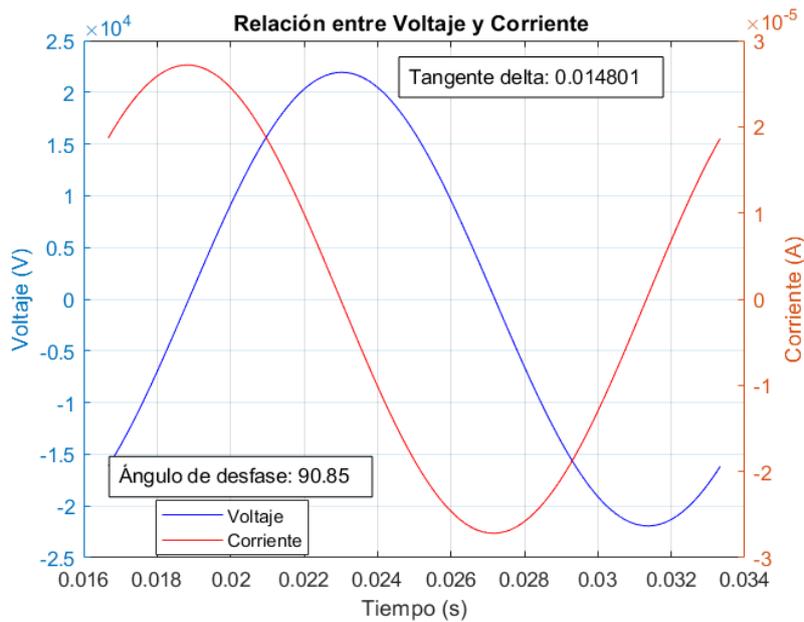


Figura 3.9: Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo.

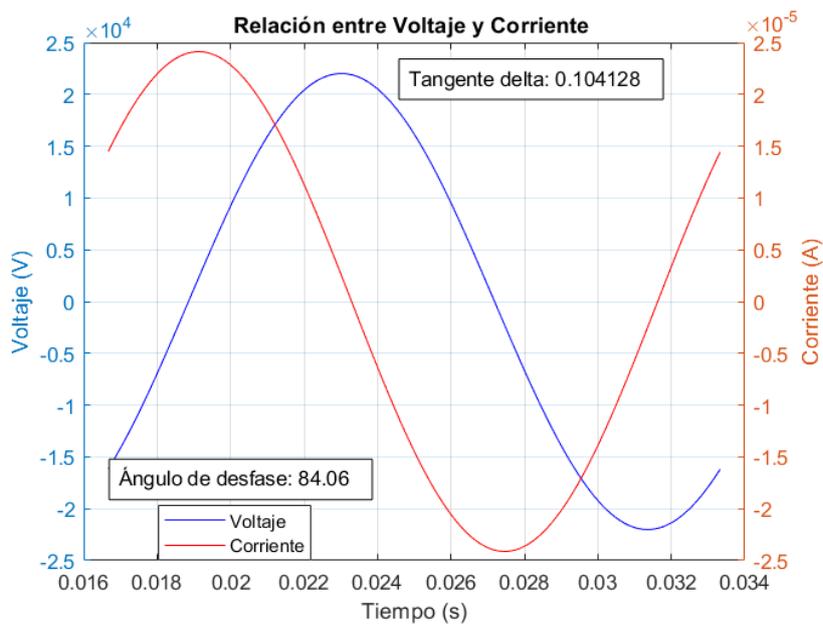


Figura 3.10: Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado.

Comparando estos valores de  $\tan \delta$  con el estándar ideal del Pin (0,020):

- Pin-nuevo: La tangente delta obtenida 0,0148, lo cual es menor que el valor estándar, indicando que el pin nuevo está en buen estado, ya que presenta pérdidas dieléctricas menores.
- Pin-deteriorado: La tangente delta obtenida 0,1041, considerablemente mayor que el valor estándar, lo que indica un incremento significativo en las pérdidas dieléctricas con la edad del pin.

Estos resultados muestran que el pin nuevo tiene un comportamiento mejorado en comparación con el estándar, mientras que el pin deteriorado presenta un claro deterioro del aislamiento, tal como se esperaba.

## ■ POLÍMERO

El polímero FXBW 28/70 es un tipo de aislador compuesto utilizado en aplicaciones de transmisión y distribución de energía eléctrica. Está diseñado para ofrecer alta resistencia mecánica y excelentes propiedades dieléctricas. Este tipo de aislador es conocido por su durabilidad, resistencia a la intemperie y capacidad para mantener su rendimiento en condiciones adversas.

La  $\tan \delta$  ideal según normas es una medida de las pérdidas dieléctricas del material aislante. Para los aisladores compuestos, las normas internacionales generalmente especifican un valor máximo aceptable de  $\tan \delta$  para garantizar un rendimiento eficiente. Un valor típico y aceptable de tangente delta para polímeros en buen estado suele estar en el rango de 0.005 a 0.01.

$$\tan \delta \approx 0,0294 \quad \text{Polimero} - \text{nuevo.} \quad (3.11)$$

$$\tan \delta \approx 0,0562 \quad \text{Polimero} - \text{deteriorado.} \quad (3.12)$$

En La Figura 3.11 y Figura 3.12, presenta las señales de voltaje y corriente en Polímero nuevo - Polímero deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales nos proporcionan el ángulo de desfase.

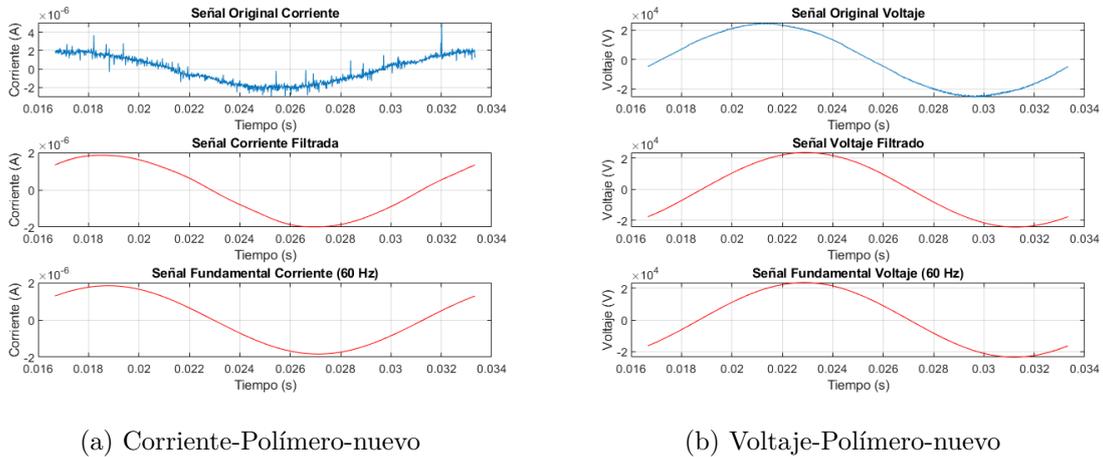
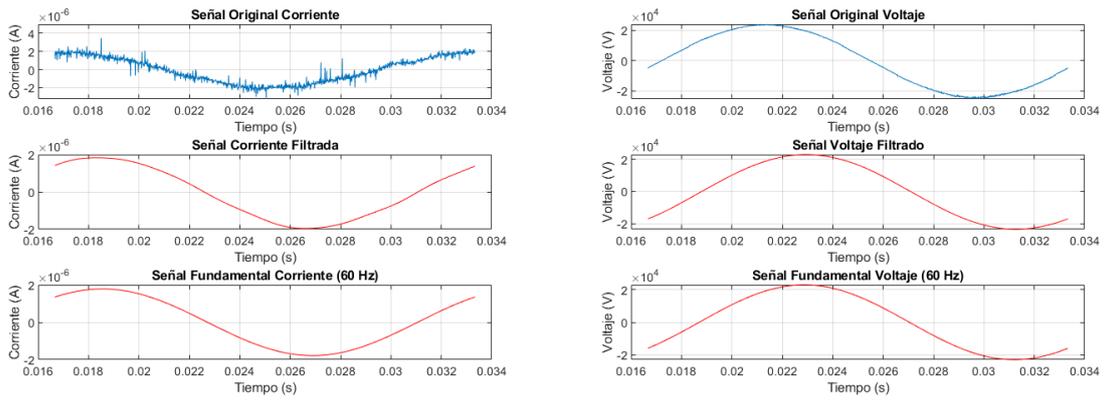


Figura 3.11: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo



(a) Corriente-Polímero-deteriorado

(b) Voltaje-Polímero-deteriorado

Figura 3.12: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-deteriorado

En la Figura 3.13 y Figura 3.14 presentan los ángulos de desfase previamente mencionados, utilizados para calcular matemáticamente  $\tan \delta$ .

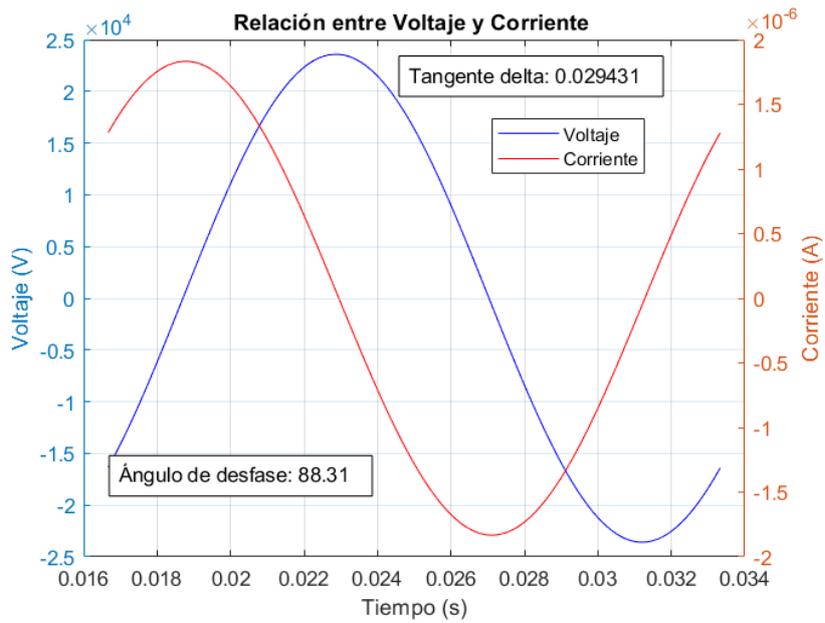


Figura 3.13: Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo.

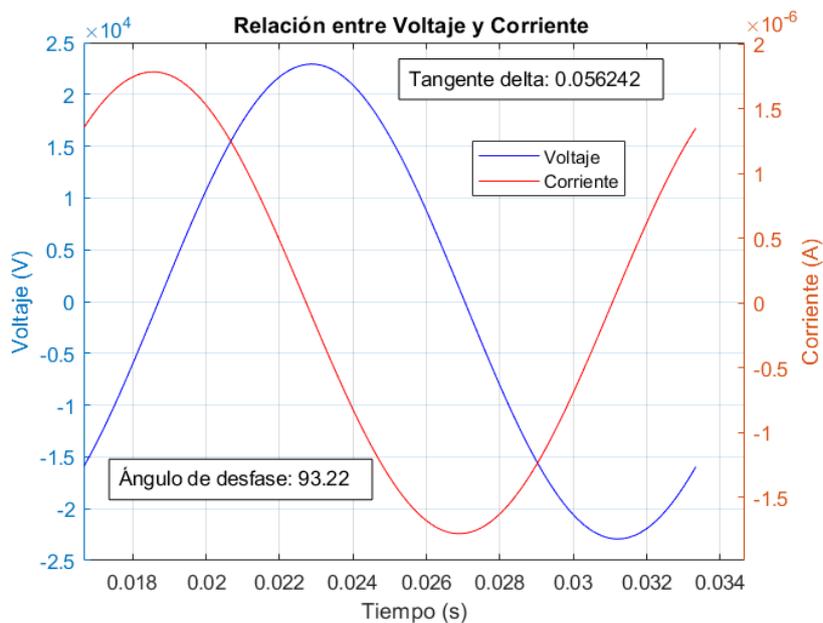


Figura 3.14: Relación voltaje-corriente, Polímero-deteriorado.

El valor de  $\tan \delta$  observado en el Polímero nuevo y Polímero deteriorado, son demasiado altos al valor estándar que se encuentra en la Tabla 3.1. Esta diferencia indica un aumento notable en las pérdidas dieléctricas de los polímeros, lo que sugiere una degradación del material aislante con el tiempo, sabiendo que podrían afectar su capacidad aislante a largo plazo.

### 3.1.2. Ensayo en Lluvia

Para evaluar el comportamiento dieléctrico de los aislantes en condiciones de lluvia, se llevó a cabo una serie de ensayos utilizando un protocolo de lluvia artificial conforme a la norma IEEE Std 4-2013. Es importante destacar que el enfoque del estudio se centró específicamente en el Pin y Polímero, dado que estos componentes cuentan con una capa para mitigar el agua. En la Tabla 3.4, detalla los parámetros a evaluar de cada aislante bajo condiciones de lluvia.

Tabla 3.4: Tabla de datos en lluvia

Material	Estado	Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado Max (V)	Corriente Procesada (A)	Temp °C	Humedad Relat (%)	Presión Atmos (hPa)
Pin	Nuevo	16,37	16272,8534	1,08790E-04	19,90	44,00	753,30
	Deteriorado	16,39	16438,1636	9,88640E-05	20,00	47,00	753,40
Polímero	Nuevo	17,25	17042,7178	3,74320E-05	20,00	48,00	753,10
	Deteriorado	17,40	17301,7872	5,19030E-05	20,00	48,00	752,90

## ■ PIN

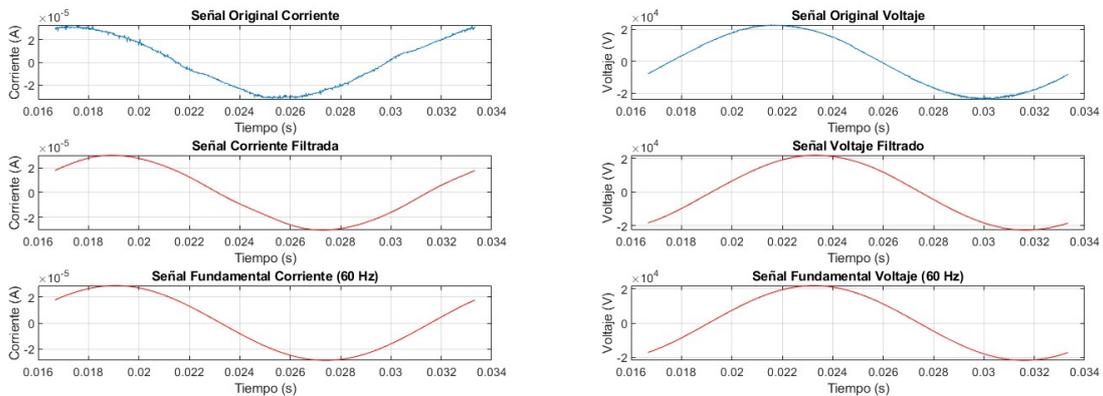
Para el pin ANSI 56-1, la  $\tan \delta$  estándar proporciona una referencia base para determinar la eficiencia y el estado del aislamiento. Sin embargo, las pruebas en condiciones de lluvia ofrecen una perspectiva crucial sobre el rendimiento del aislador en entornos húmedos.

Para la obtención de  $\tan \delta$  nos basamos en la formulas utilizadas en el sección 3.1.1 (Grilon) obteniendo los siguientes resultados:

$$\tan \delta \approx 0,00551 \quad \text{Pin} - \text{nuevo.} \quad (3.13)$$

$$\tan \delta \approx 0,06966 \quad \text{Pin} - \text{deteriorado.} \quad (3.14)$$

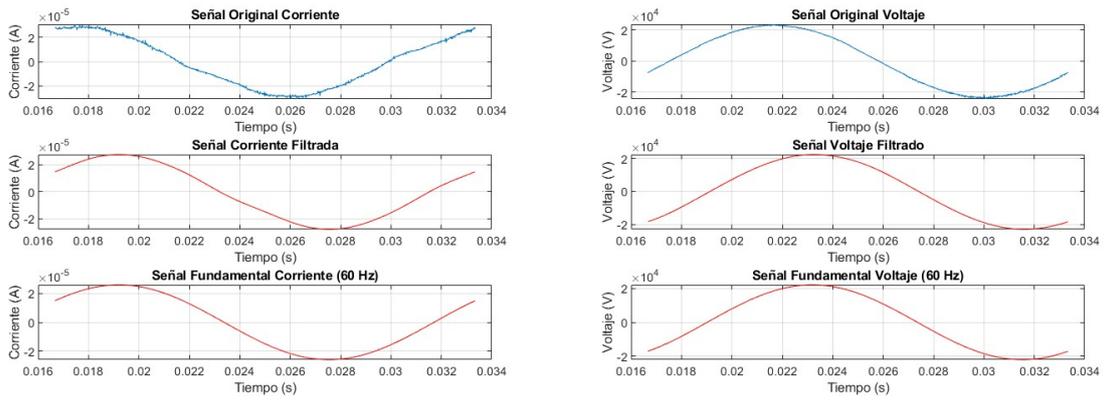
En la Figura 3.15 y Figura 3.16, se encuentra las señales de voltaje y corriente en Pin nuevo - Pin deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales nos proporcionan el ángulo de desfase.



(a) Corriente-Pin-nuevo

(b) Voltaje-Pin-nuevo

Figura 3.15: Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo



(a) Corriente-Pin-deteriorado

(b) Voltaje-Pin-deteriorado

Figura 3.16: Señales Voltaje-Corriente-Pin-Deteriorado

En la Figura 3.17 y Figura 3.18 se presentan los ángulos de desfase previamente mencionados y utilizados para el cálculo la  $\tan \delta$ .

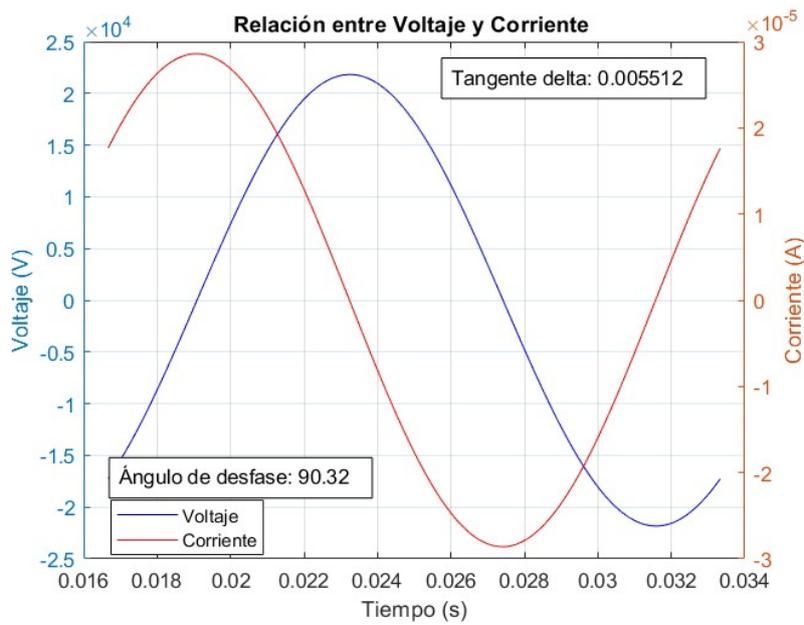


Figura 3.17: Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo.

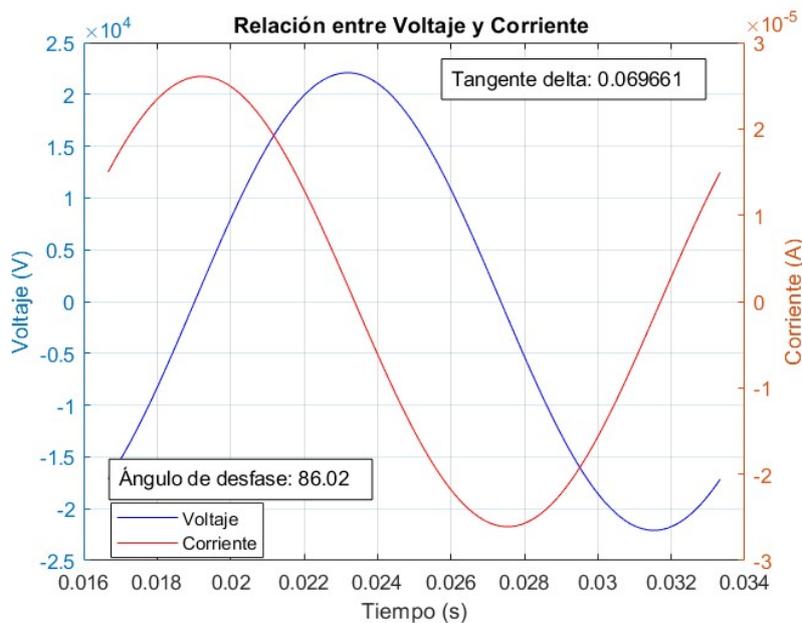


Figura 3.18: Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado.

La  $\tan \delta$  analizada en el Pin deteriorado, se encuentran fuera del rango estándar encontrado en la Tabla 3.1, esto se debe a las condiciones que se encuentra sometido el aislante.

El Pin - nuevo muestra un valor de  $\tan \delta$  en condiciones de lluvia de 0,00551, es mucho menor al estándar lo cual difiere significativamente de su comportamiento esto podría indicar que el aislante tiene una alteración en las características dieléctricas.

El Pin - deteriorado presenta un valor de  $\tan \delta$  0,00696, este valor es mayor respecto al estándar, lo cual es esperado debido a su deterioro al pasar los años.

## ■ POLÍMERO

El comportamiento del polímero bajo la lluvia es esencial para el funcionamiento seguro y efectivo de los aislantes en entornos adversos. Aunque se conoce que los aisladores de polímero tienen ventajas de menor peso en comparación con los materiales a base de vidrio, además de tener alta resistencia mecánica y excelente realización bajo condiciones contaminadas, enfrentan desafíos significativos bajo la lluvia. Por lo tanto, es fundamental evaluar los cambios dieléctricos para determinar la integridad por parte de los aisladores.

En base a la sección 3.1.1, procedemos a la obtención de la  $\tan \delta$ :

$$\tan \delta \approx 0,0204 \quad \text{Polimero} - \text{nuevo.} \quad (3.15)$$

$$\tan \delta \approx 0,243 \quad \text{Polimero} - \text{deteriorado.} \quad (3.16)$$

La Figura 3.19 y Figura 3.20, muestran las señales de voltaje y corriente en Polímero nuevo - Polímero deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales proporcionan el ángulo de desfase.

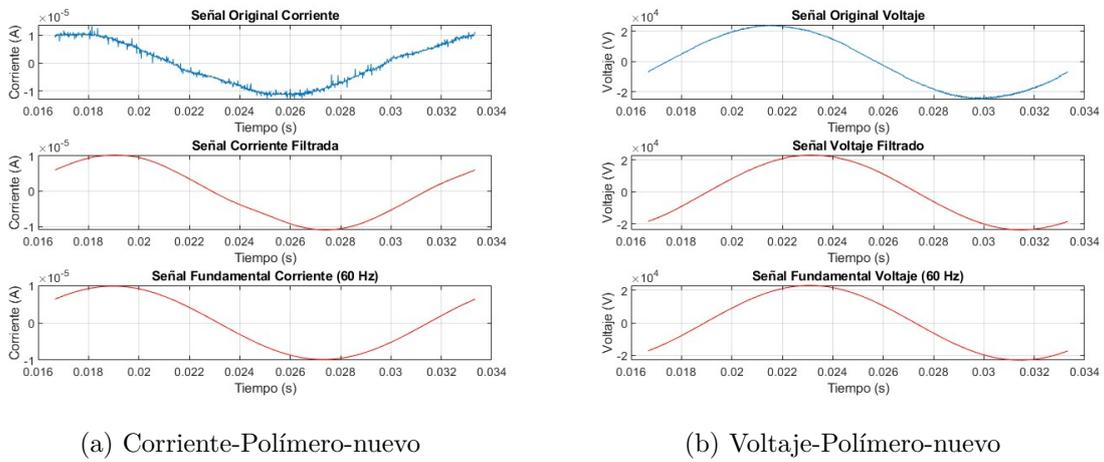


Figura 3.19: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo

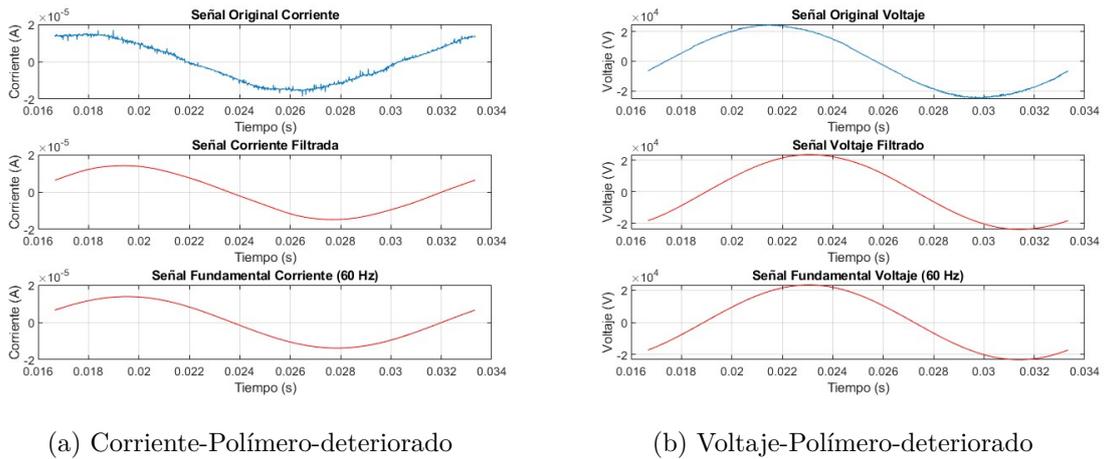


Figura 3.20: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-Deteriorado

En la Figura 3.21 y Figura 3.22, se muestran los ángulos de desfase mencionados y utilizados para el cálculo la  $\tan \delta$ .

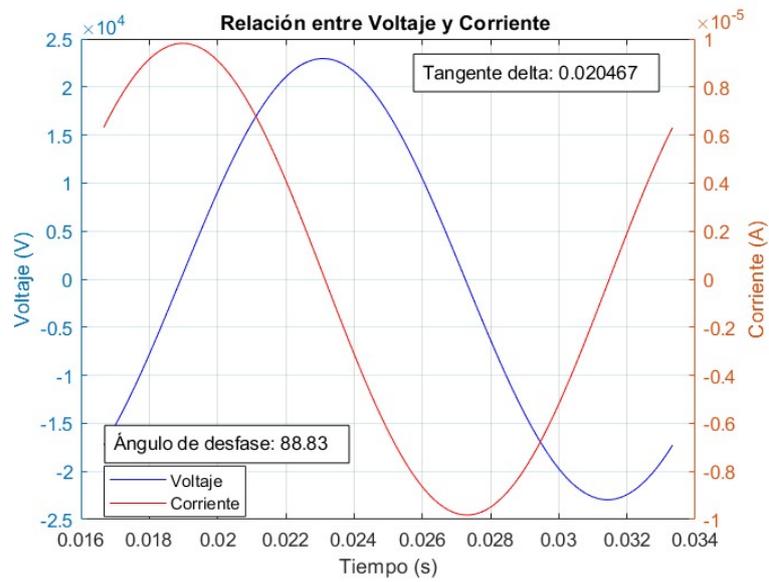


Figura 3.21: Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo.

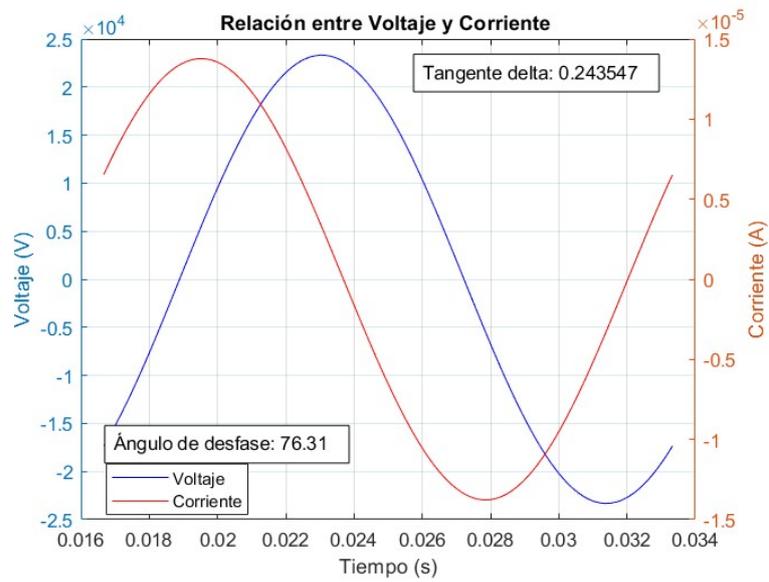


Figura 3.22: Relación voltaje-corriente, Polímero-deteriorado.

Dado que este análisis se enfoca en evaluar la integridad del aislamiento, es posible ver en la Figura 3.21, Figura 3.22, tanto el polímero nuevo como el antiguo tienen valores de  $\tan \delta$  mucho más alto de lo normal considerado en el rango estándar presentado en la Tabla 3.1. Cabe destacar que estos son indicadores de alta pérdida dieléctrica y la posible degradación del material aislante.

El polímero antiguo, con un valor de  $\tan \delta$  de 0,243, exhibió un nivel de degradación mucho más alto de lo que se ve para el polímero nuevo, el cual tuvo una  $\tan \delta$  de 0,0204. De esta manera, se puede concluir que la integridad de ambos polímeros no alcanza los estándares de calidad requeridos para condiciones de lluvia, lo cual puede indicar la necesidad de un mantenimiento diligente o la sustitución del aislante en uso.

### 3.1.3. Ensayo en Contaminación

Este ensayo se llevó a cabo para analizar el comportamiento de la  $\tan \delta$  en un entorno contaminante basándose en la norma IEEE Std 4-2013, comparándolo con las condiciones antes ya mencionadas.

En la Tabla 3.5, se encuentran los datos que se utilizarán para este análisis con el fin de proporcionar una visión clara de cómo las variaciones ambientales afectan las propiedades dieléctricas de los materiales bajo estudio.

En esta ocasión, se limitó el estudio a dos de los cuatro componentes, ya que la aplicación de la prueba a elementos como cables o grilones podría ocasionar interferencias directas no deseadas en su funcionamiento, contraviniendo así el propósito inicial de la investigación.

Tabla 3.5: Tabla de datos en Contaminación

Material	Estado	Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado Max (V)	Corriente Procesada (A)	Temp °C	Humedad Relat (%)	Presión Atmos (hPa)
Pin	Nuevo	16,36	16060,895	1,12270E-04	17,90	47,00	753,60
	Deteriorado	16,54	16327,156	9,34610E-05	17,80	48,00	753,60
Polímero	Nuevo	17,49	17247,487	7,08310E-06	17,90	49,00	753,80
	Deteriorado	17,01	16729,024	7,27450E-06	17,80	47,00	753,70

## ■ PIN

En el caso de las pruebas en contaminante según la norma IEEE Std 4-2013, se busca evaluar cómo es afectado el aislamiento en condiciones de contaminación y humedad, lo cual es muy importante para determinar su rendimiento en entornos reales.

Esto permite evaluar cómo cambia la  $\tan \delta$  y otras propiedades del aislamiento en situaciones más cercanas a las condiciones ambientales reales.

La Figura 3.23 y Figura 3.24, muestran las señales de voltaje y corriente en Pin nuevo - Pin deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales nos proporcionan el ángulo de desfase.

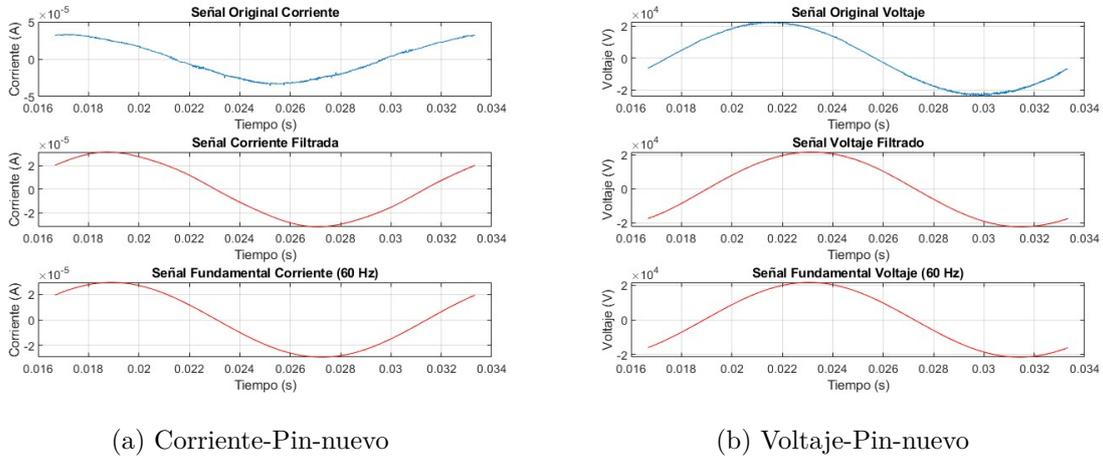


Figura 3.23: Señales Voltaje-Corriente-Pin-nuevo

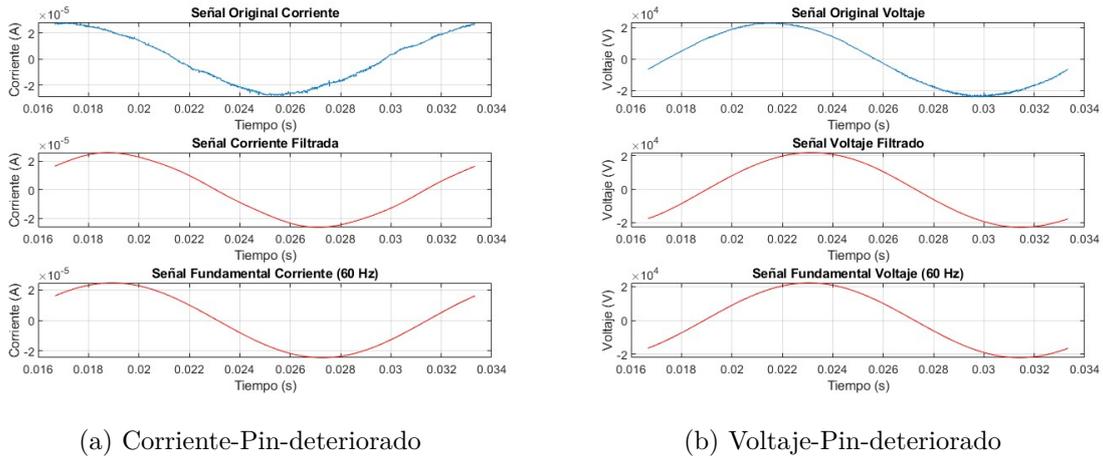


Figura 3.24: Señales Voltaje-Corriente-Pin-Deteriorado

En base al valor de ángulo de desfase en la Figura 3.25, se realiza el cálculo siguiendo el mismo procedimiento detallado descrito en la sección 3.1.1, para el estudio del pin-nuevo en un ambiente contaminado su resultado es de 0,0063.

$$\tan \delta \approx 0,0063 \quad \text{Pin} - \text{nuevo}. \quad (3.17)$$

Este valor de  $\tan \delta$  de 0,0063, se compara con el valor estándar que es típicamente de 0,020 para materiales dieléctricos en condiciones ideales. Por ende el Pin nuevo, se encuentra muy por debajo del estándar, lo cual tiene un factor de disipación que generalmente sugiere menores pérdidas dieléctricas y mejor eficiencia del material aislante.

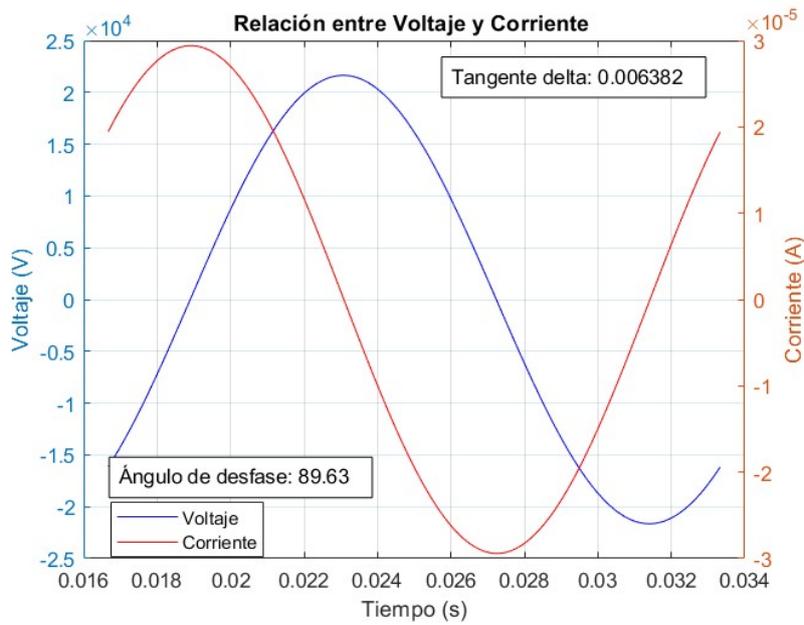


Figura 3.25: Relación voltaje-corriente, Pin-nuevo.

En base a la Figura 3.26 para el estudio del pin-deteriorado en un ambiente contaminado, el cálculo de la  $\tan \delta$  es de 0.0146.

$$\tan \delta \approx 0,0146 \qquad \text{Pin} - \text{deteriorado}. \qquad (3.18)$$

Al comparar el valor estándar antes ya mencionado es interesante comparar este valor con la  $\tan \delta$  del Pin deteriorado, que tiene  $\tan \delta$  de 0,0146. Este valor es significativamente menor que el valor estándar de 0,020, lo que sugiere que el pin deteriorado tiene una capacidad mucho menor de disipar energía eléctrica. Esto puede indicar que el material del pin deteriorado está en mejores condiciones en términos de sus propiedades dieléctricas y que ha experimentado menos degradación debido a la exposición a contaminantes o a otras condiciones adversas.

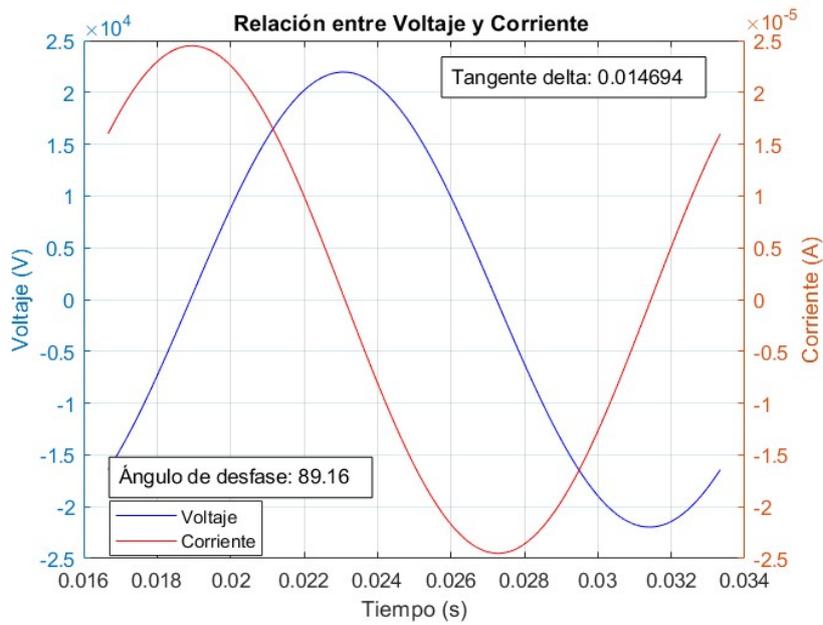
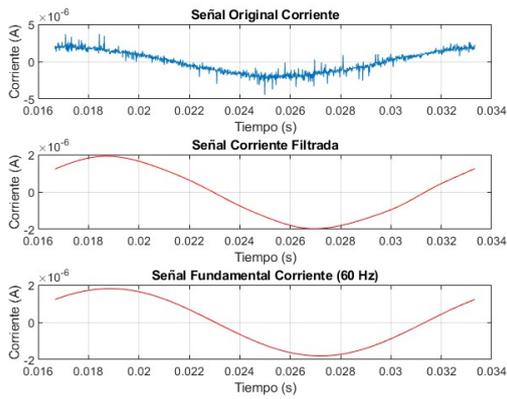


Figura 3.26: Relación voltaje-corriente, Pin-deteriorado.

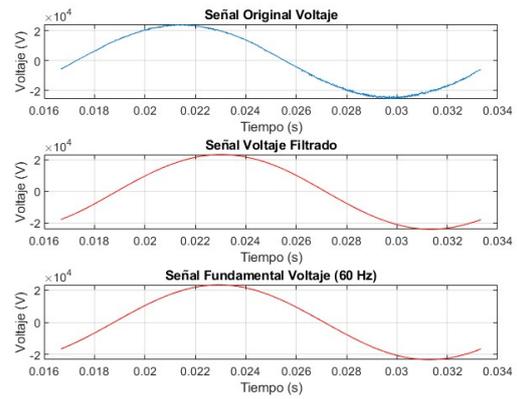
## ■ POLÍMERO

En este estudio, se evaluará la  $\tan \delta$  de un polímero deteriorado y uno nuevo, ambos sometidos a pruebas de contaminación conforme a la norma IEEE Std 4-2013. El polímero FXBW 28/70 será el material objeto de estudio, y se compararán sus  $\tan \delta$  con los valores estándar, que oscilan entre 0,005 y 0,01, para determinar el impacto de la contaminación en sus propiedades dieléctricas.

Los ángulos de  $\tan \delta$  se utilizan para evaluar las pérdidas dieléctricas en los polímeros y son cruciales para determinar su desempeño en aplicaciones eléctricas. Los resultados obtenidos nos permiten analizar cómo la contaminación y el envejecimiento han afectado las propiedades dieléctricas de los polímeros FXBW 28/70.



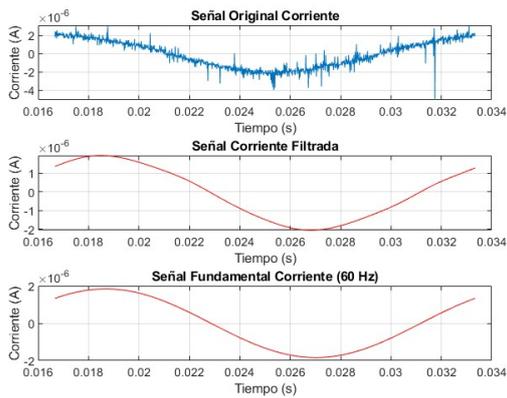
(a) Corriente-Polímero-nuevo



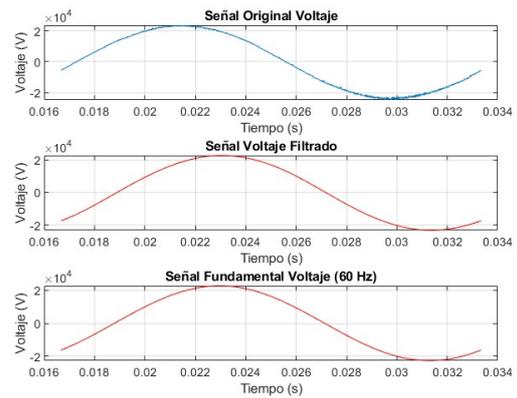
(b) Voltaje-Polímero-nuevo

Figura 3.27: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-nuevo

La Figura 3.27 y Figura 3.28, muestran las señales de voltaje y corriente en Polímero nuevo - Polímero deteriorado, señales que han sido sometidas a un proceso de filtrado para reducir el ruido. Después de este proceso, se realiza la extracción de las componentes fundamentales. Estas señales proporcionan el ángulo de desfase.



(a) Corriente-Polímero-deteriorado



(b) Voltaje-Polímero-deteriorado

Figura 3.28: Señales Voltaje-Corriente-Polímero-deteriorado

Se puede visualizar en la Figuras 3.29, Figura 3.30 los ángulos de desfase utilizados para el cálculo.

- Tangente Delta del Polímero Nuevo:

$$\tan \delta \approx 0,030$$

$$\text{Polimero} - \text{nuevo.} \tag{3.19}$$

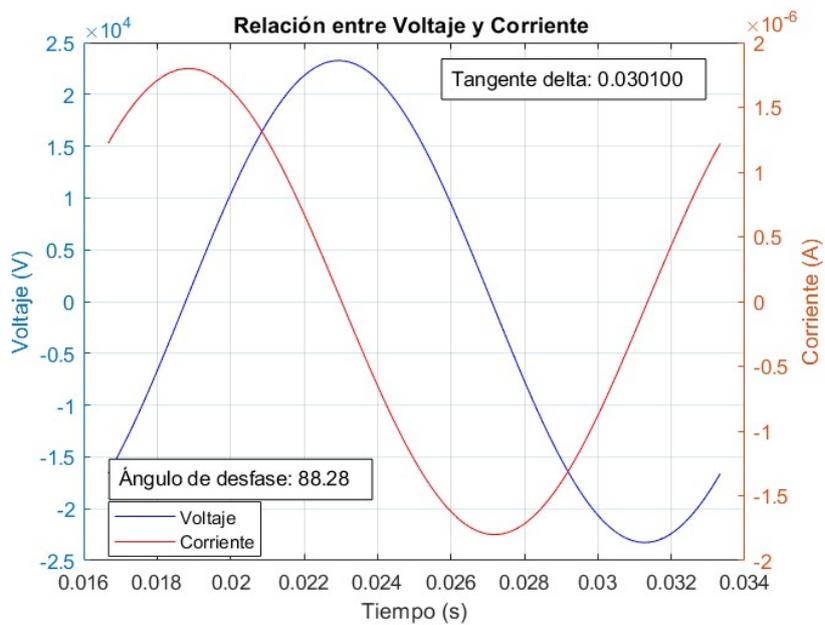


Figura 3.29: Relación voltaje-corriente, Polímero-nuevo.

El polímero FXBW 28/70 tiene una  $\tan \delta$  estándar en el rango de 0,005 a 0,01. Analizando los resultados obtenidos para el polímero nuevo y el polímero deteriorado, sometidos a pruebas de contaminación:

El polímero muestra una  $\tan \delta$  de 0,030. Este valor excede ligeramente el rango estándar de 0,005 a 0,01, lo que indica que está muy por encima del rango estándar, indicando un deterioro considerable del material y una reducción significativa en la eficiencia del aislamiento.

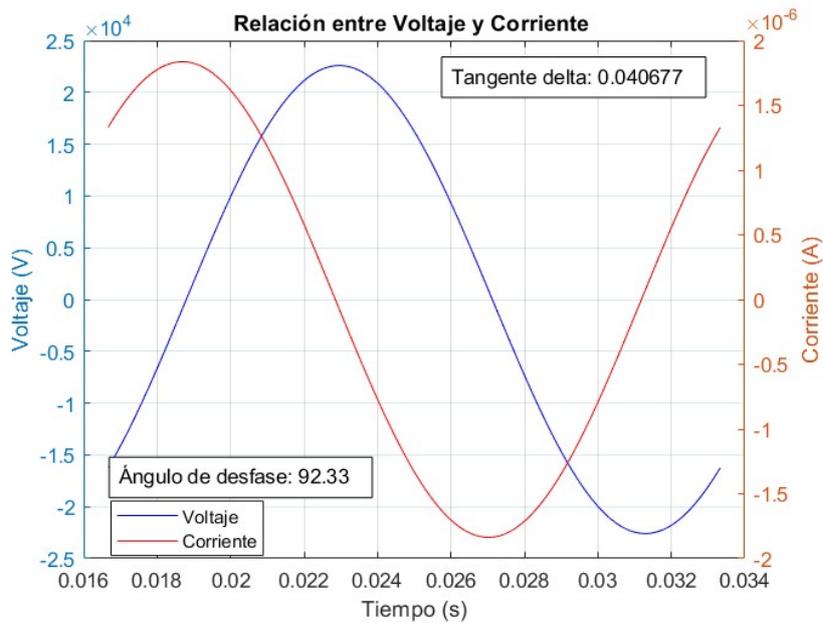


Figura 3.30: Relación voltaje-corriente, Polímero-deteriorado.

- Tangente Delta del Polímero deteriorado:

$$\tan \delta \approx 0,040 \qquad \text{Polimero} - \text{deteriorado.} \qquad (3.20)$$

El polímero deteriorado FXBW 28/70 presenta una  $\tan \delta$  de 0,040. Este valor está considerablemente por encima del rango estándar, lo que indica una degradación significativa de las propiedades dieléctricas del material debido al envejecimiento y la exposición prolongada a contaminantes. Una  $\tan \delta$  de 0.040 sugiere una alta cantidad de pérdidas dieléctricas, lo que puede afectar negativamente la eficiencia energética y reducir la vida útil del material.

### 3.2. Análisis.

En las Tablas 3.2, 3.4, 3.5, se encuentra detallado los datos obtenidos por los ensayos realizados en cada una de estas condiciones, recopilando datos clave sobre el ángulo de desfase, la  $\tan \delta$ , la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica.

Las datos de las pruebas en condición de ambiente seco sirven como referencia para comparar los resultados de los ensayos efectuados bajo condiciones de lluvia y contaminación, permitiendo evaluar con precisión la variación de las propiedades del aislamiento en distintas situaciones ambientales.

### 3.2.1. Análisis General en Seco.

- Análisis por Material

Las Tablas 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 presentan los datos consolidados de cada material aislante, detallando los valores individuales correspondientes a cada ángulo de desfase y  $\tan \delta$ .

Cada tabla ofrece una recopilación completa de los parámetros dieléctricos de los materiales, lo que facilita una comparación detallada entre ellos. Al analizar los datos de manera individual, se puede observar que cada material exhibe un comportamiento distintivo en términos de sus pérdidas dieléctricas, las cuales están representadas por sus ángulos y tangentes específicas.

#### Grilón

La Tabla 3.6 sera interpretada con el fin de identificar patrones, tendencias y relaciones significativas.

Tabla 3.6: Pruebas en seco Material Grilón

Prueba	Aislante	Ángulo (°)	Tan ( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Grilon	93.43	0.060018	22,1	45,00	749,10
2	Grilon	95.36	0.093818	20,6	47,00	752,40
3	Grilon	95.42	0.094798	20,3	46,00	749,70
4	Grilon	92.89	0.050440	20,0	52,00	754,10
5	Grilon	92.55	0.044544	20,4	51,00	753,30
6	Grilon	92.66	0.046523	20,9	49,00	751,60

Se observa que los valores de  $\tan \delta$  están consistentemente fuera del rango estándar (0.001 - 0.01), lo que sugiere posibles degradaciones o irregularidades en las propiedades dieléctricas del Grilón.

#### Cable

Tabla 3.7: Pruebas en seco Material Cable

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Cable	Nuevo	92.02	0.035313	22,2	42,00	749,00
		Deteriorado	91.71	0.029859	22,2	42,00	749,00
2	Cable	Nuevo	94.36	0.076318	20,2	51,00	752,60
		Deteriorado	94.31	0.075336	20,4	50,00	752,50
3	Cable	Nuevo	94.52	0.078967	20,5	47,00	749,70
		Deteriorado	94.42	0.077337	20,4	46,00	749,60
4	Cable	Nuevo	91.65	0.028889	20,7	52,00	754,10
		Deteriorado	91.60	0.027880	20,6	53,00	754,10
5	Cable	Nuevo	91.76	0.030805	20,5	52,00	753,30
		Deteriorado	91.55	0.027090	20,6	51,00	753,20
6	Cable	Nuevo	91.66	0.029061	20,8	48,00	751,60
		Deteriorado	91.51	0.026307	20,8	48,00	751,70

Los valores de  $\tan \delta$  están consistentemente fuera del rango estándar (0,001), indicando mayores pér-

didadas dieléctricas y un desempeño inferior en condiciones secas.

## Pin

Tabla 3.8: Pruebas en seco Material Pin

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Pin	Nuevo	90.49	0.008517	22,9	38,00	748,30
		Deteriorado	83.79	0.108845	22,7	37,00	748,40
2	Pin	Nuevo	93.83	0.066952	18,2	55,00	752,80
		Deteriorado	86.78	0.056254	19,5	52,00	752,70
3	Pin	Nuevo	93.78	0.066131	20,9	48,00	749,60
		Deteriorado	87.80	0.038410	21,0	45,00	749,60
4	Pin	Nuevo	90.87	0.015159	20,5	54,00	754,20
		Deteriorado	83.60	0.112233	20,4	51,00	754,20
5	Pin	Nuevo	90.85	0.014801	20,6	51,00	753,30
		Deteriorado	84.06	0.104128	20,6	51,00	753,20
6	Pin	Nuevo	90.86	0.014960	20,8	49,00	751,80
		Deteriorado	84.58	0.094835	20,8	49,00	751,80

Al realizar un breve análisis en la Tabla 3.8, la mayoría de la  $\tan \delta$  de los aislantes nuevos se encuentran dentro del rango estandar y los valores de  $\tan \delta$  están consistentemente fuera del rango estándar (0.020), sugiere posibles degradaciones o irregularidades en las propiedades dieléctricas del Pin-nuevo y Pin-deteriorado.

## Polímero

Tabla 3.9: Pruebas en seco Material Polímero

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Polímero	Nuevo	87.87	0.037245	22,8	39,00	748,80
		Deteriorado	92.51	0.043914	22,6	42,00	748,90
2	Polímero	Nuevo	91.47	0.025653	20,0	51,00	752,70
		Deteriorado	95.65	0.098973	19,9	51,00	752,60
3	Polímero	Nuevo	91.35	0.023626	21,1	44,00	749,60
		Deteriorado	96.24	0.109371	21,1	46,00	749,60
4	Polímero	Nuevo	88.72	0.022344	20,6	50,00	754,10
		Deteriorado	93.26	0.056893	20,7	52,00	754,20
5	Polímero	Nuevo	88.31	0.029431	20,8	51,00	753,10
		Deteriorado	93.22	0.056242	20,7	50,00	753,10
6	Polímero	Nuevo	88.56	0.025062	20,7	49,00	751,80
		Deteriorado	93.44	0.060108	20,6	49,00	751,80

Los valores de  $\tan \delta$  están reiteradamente fuera del rango estándar (0,005-0,01), lo que sugiere posibles degradaciones o irregularidades en las propiedades dieléctricas.

### 3.2.2. Análisis General en Lluvia

- Análisis por Material

Las Tablas 3.10 y 3.11 presentan los datos de cada material aislante, detallando los valores individuales.

Al analizar los datos de manera individual, se puede observar que cada material exhibe un comportamiento distintivo en términos de sus pérdidas dieléctricas, las cuales están representadas por sus ángulos y tangentes específicas.

#### Pin

Tabla 3.10: Pruebas en lluvia Material Pin

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Pin	Nuevo	93,59	0,06271	18,90	48,00	754,40
		Deteriorado	87,79	0,03864	18,90	50,00	754,40
2	Pin	Nuevo	93,59	0,06271	19,60	48,00	753,80
		Deteriorado	87,79	0,03864	19,50	47,00	753,80
3	Pin	Nuevo	88,87	0,01978	19,60	45,00	753,50
		Deteriorado	86,53	0,06055	19,70	45,00	753,60
4	Pin	Nuevo	91,60	0,02794	19,80	48,00	753,30
		Deteriorado	85,14	0,08509	19,80	50,00	753,40
5	Pin	Nuevo	90,32	0,00551	19,90	44,00	753,00
		Deteriorado	86,02	0,06966	20,00	47,00	753,00
6	Pin	Nuevo	88,27	0,03025	20,00	48,00	752,30
		Deteriorado	83,68	0,11067	20,00	49,00	752,20

La  $\tan \delta$  para el pin se encuentra en un valor estándar aceptable de (0,020), al realizar el análisis se observa que en las pruebas 1, 2, 4, 6, superan significativamente el estándar mencionado esto indica mayor pérdidas dieléctricas, por ende una eficiencia reducida.

En comparación entre Pin nuevo y Pin deteriorado, se evidencia que el material deteriorado presenta valores de  $\tan \delta$  altos, indicando un deterioro considerable del material y una reducción significativa en la eficiencia del aislamiento.

## Polímero

Tabla 3.11: Pruebas en lluvia Material Polímero

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Polímero	Nuevo	99,60	0,16920	18,90	50,00	754,40
		Deteriorado	87,31	0,04693	19,00	49,00	754,40
2	Polímero	Nuevo	99,60	0,16920	19,40	46,00	753,90
		Deteriorado	87,31	0,04693	19,30	45,00	753,90
3	Polímero	Nuevo	122,81	0,64483	19,80	50,00	753,60
		Deteriorado	90,90	0,01579	19,90	52,00	753,60
4	Polímero	Nuevo	79,95	0,17726	19,80	48,00	753,40
		Deteriorado	68,74	0,38900	19,80	48,00	753,40
5	Polímero	Nuevo	88,83	0,02047	20,00	48,00	753,10
		Deteriorado	76,31	0,24355	20,00	48,00	752,90
6	Polímero	Nuevo	71,67	0,33127	20,00	52,00	752,20
		Deteriorado	51,64	0,79136	20,10	55,00	752,10

La  $\tan \delta$  para el polímero tiene un valor estándar de (0,005-0,01), al interpretar los resultados obtenidos en todas las pruebas realizadas la  $\tan \delta$  excede drásticamente el valor estándar indicando mayores pérdidas dieléctricas. Finiquitando que no cumple con los requisitos esperados de eficiencia dieléctrica.

### 3.2.3. Análisis General en Contaminación

- Análisis por Material

Las Tablas 3.12 y 3.13 presentan los datos consolidados de cada material aislante.

Al analizar los datos de manera individual, se puede observar que cada material exhibe un comportamiento distintivo en términos de sus pérdidas dieléctricas, las cuales están representadas por sus ángulos y tangentes específicas.

## Pin

Tabla 3.12: Pruebas en contaminante Material Pin

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Pin	Nuevo	90,86	0,01496	19,60	47,00	754,00
		Deteriorado	90,30	0,00519	19,60	46,00	754,10
2	Pin	Nuevo	91,36	0,02367	21,20	46,00	751,40
		Deteriorado	90,83	0,01456	21,60	45,00	751,40
3	Pin	Nuevo	89,63	0,00638	17,90	47,00	753,60
		Deteriorado	89,16	0,01469	17,80	48,00	753,60
4	Pin	Nuevo	89,92	0,00132	20,30	44,00	750,70
		Deteriorado	88,36	0,02864	20,40	44,00	750,70
5	Pin	Nuevo	89,36	0,01125	19,40	52,00	751,60
		Deteriorado	87,37	0,04587	19,40	50,00	751,60
6	Pin	Nuevo	88,87	0,01981	19,90	51,00	753,90
		Deteriorado	87,48	0,04406	20,10	53,00	753,80

En el caso del pin nuevo la prueba 2, se encuentra fuera del rango esto sugiere que el aislante después de haber sido contaminado según el procedimiento basado en el IEEE Std 4-2013, muestra el aumento considerable en las pérdidas dieléctricas.

Las demás pruebas realizadas de las tangentes obtenidas son menores al estándar, debido a que las capas de contaminación se pudieron haber desprendido en el momento del ensayo y por ello llegaron a tener una menor contaminación.

## Polímero

Tabla 3.13: Pruebas en contaminante Material Polímero

Prueba	Aislante	Estado	Ángulo (°)	Tan( $\delta$ )	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
1	Polímero	Nuevo	88,27	0,03024	19,50	48,00	754,20
		Deteriorado	93,91	0,06841	19,60	47,00	754,20
2	Polímero	Nuevo	101,45	0,20252	21,60	44,00	751,50
		Deteriorado	100,04	0,14292	21,60	44,00	751,50
3	Polímero	Nuevo	88,28	0,03010	17,90	49,00	753,80
		Deteriorado	92,33	0,04068	17,80	47,00	753,70
4	Polímero	Nuevo	86,78	0,05621	20,10	45,00	750,08
		Deteriorado	92,52	0,04403	20,20	44,00	750,80
5	Polímero	Nuevo	86,28	0,06502	19,40	51,00	751,50
		Deteriorado	92,32	0,04053	19,40	50,00	751,60
6	Polímero	Nuevo	87,22	0,04861	20,20	50,00	753,80
		Deteriorado	92,66	0,04640	20,20	49,00	753,70

En algunos aisladores nuevos y deteriorados se encuentra un valor de  $\tan \delta$ , dentro del rango estándar y otros fuera lo que indica que el material del polímero, tanto nuevo como deteriorado, no cumple con las especificaciones estándar esperadas para su categoría. Además, se debe considerar el impacto de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, presión) en los resultados obtenidos.

### 3.3. Análisis comparativo de resultados de pruebas.

En el ámbito del análisis estadístico, las medidas de tendencia central son herramientas de gran importancia para resumir un conjunto de datos. Estas medidas proporcionan un valor único que representa el centro de los datos, siendo de gran utilidad para comparar diferentes conjuntos de datos o para identificar patrones y tendencias.

Entre las medidas de tendencia central más comunes se encuentran la media aritmética, la media geométrica y la media ponderada. Cada una de estas medidas tiene sus propias características y aplicaciones, y la elección de la medida más adecuada dependerá de las características de los datos y del objetivo del análisis.

Se analizarán las tres medidas de tendencia central mencionadas anteriormente, con un enfoque particular en la media geométrica.

- Media Aritmética

Es la suma de todos los valores dividida por el número total de valores. Es útil si los datos no tienen grandes diferencias en magnitud o dispersión y se asume que todos los datos tienen el mismo peso.

$$\text{Media Aritmética} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.21)$$

- Media Geométrica

Se usa principalmente para datos que son productos o tasas de crecimiento. Es el producto de todos los valores elevado a la potencia de 1 dividido por el número de valores.

$$\text{Media Geométrica} = \left( \prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.22)$$

- Media Ponderada

Si algunas pruebas o condiciones son más importantes o tienen más peso en tu análisis, puedes asignar diferentes pesos a cada grupo de datos. La fórmula sería:

$$\text{Media Ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3.23)$$

Al estudiar estos tres tipos de medias se opta por la media geométrica dado que es una herramienta valiosa en el análisis de datos multiplicativos, especialmente cuando se trata de productos de factores o tasas de crecimiento. En situaciones donde los datos varían en órdenes de magnitud o se distribuyen de manera multiplicativa, la media geométrica es una medida más robusta de la tendencia central en comparación con la media aritmética, ya que minimiza el impacto de valores extremos. Además, su utilidad se extiende a la normalización de datos exponenciales, lo que permite una comparación equitativa y balanceada entre conjuntos de datos diversos.

Este análisis tiene como objetivo calcular la media de cada ensayo en estos ambientes específicos. Es importante destacar que en cada uno de estos ambientes se examinaron dos tipos de aislantes: el pin y el polímero. Además, se realizó el análisis considerando el estado del aislante, evaluando tanto aislantes nuevos y deteriorados. Esta metodología permite una comprensión más precisa de las variaciones en el rendimiento de los aislantes bajo diferentes condiciones ambientales y estados de uso.

### 3.3.1. Cálculos Aplicados a los Datos

Se presentan los cálculos de la media geométrica para las tangentes obtenidos en las pruebas del material Pin en estado nuevo y deteriorado en condición de ambiente seco.

#### 3.3.1.1. Estado Nuevo

- **Media Geométrica:** Para el cálculo de la Media se hace uso de la Fórmula 30:

$$M. G = \sqrt[6]{0,008517 \cdot 0,066952 \cdot 0,066131 \cdot 0,015159 \cdot 0,014801 \cdot 0,014960} \quad (3.24)$$

$$M. Geométrica = 0,0224 \quad (3.25)$$

#### 3.3.1.2. Estado Deteriorado

- **Media Geométrica:**

$$M. G = \sqrt[6]{0,108845 \cdot 0,056254 \cdot 0,038410 \cdot 0,112233 \cdot 0,104128 \cdot 0,094835} \quad (3.26)$$

$$M. Geométrica = 0,0799 \quad (3.27)$$

En las pruebas individuales descritas en la sección 3.2, se ha decidido realizar un análisis estadístico que se centra en la media geométrica de los resultados obtenidos en diversas condiciones de prueba, como seco, lluvia y contaminante. Este análisis busca determinar la media de cada ensayo bajo distintos ambientes. Se evaluaron dos de los cuatros tipos de aislantes, el pin y el polímero, tanto en su estado nuevo como envejecido. Este enfoque permite analizar de manera detallada cómo varía el rendimiento de los aislantes en función de las condiciones ambientales y su estado de conservación.

Tabla 3.14: Valores de la Media de  $\tan \delta$ .

Aislante	Estado	Nuevo	Deteriorado
Pin	Seco	0,0224	0,0799
Polímero		0,0268	0,0671
Pin	Lluvia	0,027	0,062
Polímero		0,168	0,117
Pin	Contaminante	0,009	0,020
Polímero		0,057	0,057

## 3.4. Análisis Estadístico

### 3.4.1. Pin

En la Figura 3.31 muestra la comparación entre las medias geométricas de la resistividad de dos tipos de pines (nuevo y deteriorado) bajo diferentes condiciones: seco, lluvia y contaminante. Además, se incluye un "Valor Estándar" el cual se encuentra estipulado en la Tabla 3.1, como referencia, indicado por una línea morada en el gráfico. Aquí se detalla un análisis exhaustivo del gráfico y de los datos presentados:

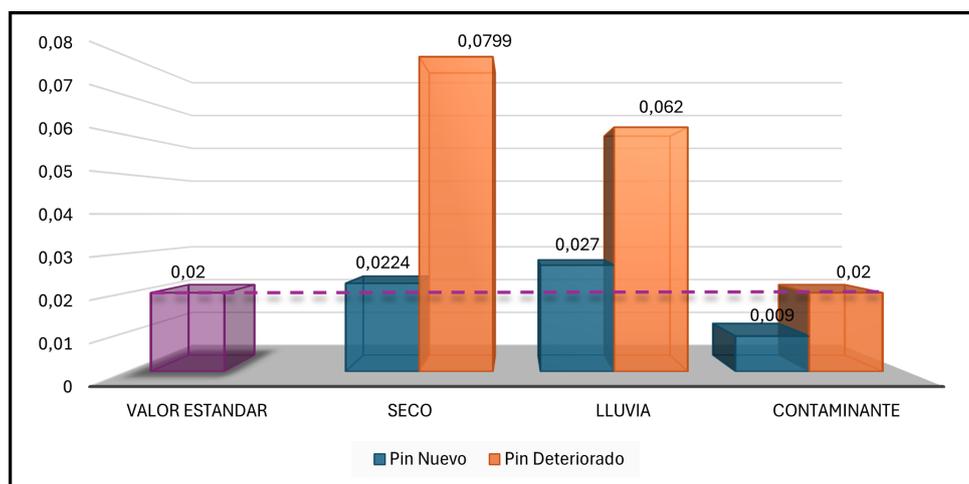


Figura 3.31: Pin nuevo-deteriorado.

### Valor Estándar

El valor estándar se presenta como 0,020. Este valor actúa como una referencia o límite que se espera que las condiciones del pin no superen para mantener un rendimiento adecuado.

### Condiciones Evaluadas

- Seco:
  - Pin Nuevo: 0,0224
  - Pin Deteriorado: 0,0799

- Lluvia:
  - Pin Nuevo: 0,027
  - Pin Deteriorado: 0,062
- Contaminante:
  - Pin Nuevo: 0,009
  - Pin Deteriorado: 0,02

## **Análisis de los Resultados**

- En la condición seca, el pin deteriorado muestra un valor significativamente mayor (0,0799) en comparación con el pin nuevo (0,0224), superando ampliamente el valor estándar de 0,02.
- Bajo la condición de lluvia, ambos tipos de pines superan el valor estándar. El pin nuevo tiene un valor de 0,027 y el pin deteriorado un valor de 0,062, ambos superiores al valor de referencia.
- En la condición contaminante, el pin nuevo tiene un valor por debajo del estándar (0,009), mientras que el pin deteriorado justo alcanza el valor estándar (0,02).

## **Interpretación de la Media Geométrica**

La media geométrica es una medida central que da una representación más precisa de los valores en casos de datos positivos y que varían en órdenes de magnitud. La utilización de la media geométrica en este contexto ayuda a comprender mejor la tendencia central de la resistividad de los pines bajo diferentes condiciones. En la mayoría de las condiciones, los valores de resistividad del pin deteriorado tienden a ser significativamente mayores que los del pin nuevo, especialmente en condiciones secas y de lluvia.

## **Línea de Valor Estándar**

La línea morada en el gráfico sirve como una guía visual que muestra cómo los valores medios geométricos de las diferentes pruebas se comparan con el valor estándar de 0,020. Para los pines nuevos, solo en la condición de lluvia se observa que la media geométrica excede el valor estándar. Para los pines deteriorados, tanto en condiciones secas como de lluvia, las medias geométricas exceden el valor estándar, lo que indica un comportamiento no deseado o falla en estas condiciones.

### 3.4.2. Polimero

En la Figura 3.32 muestra la comparación entre las medias geométricas de la resistividad de dos tipos de polímeros (nuevo y deteriorado) bajo diferentes condiciones: seco, lluvia y contaminante. Además, se incluye un "Valor Estándar" el cual se encuentra estipulado en la Tabla 3.1, como referencia, indicado por una línea morada en el gráfico. Aquí se detalla un análisis exhaustivo del gráfico y de los datos presentados:

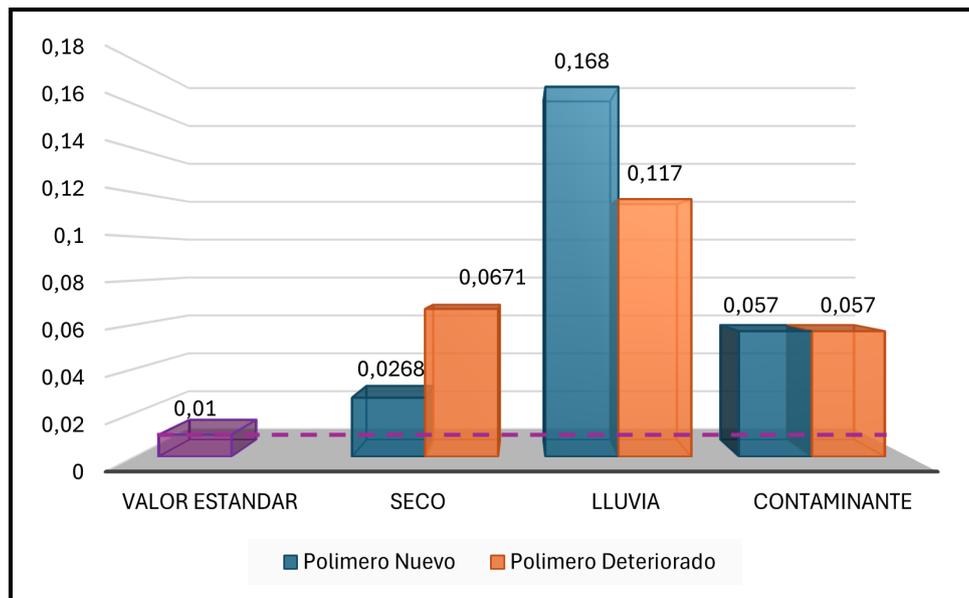


Figura 3.32: Polímero nuevo-deteriorado.

#### Valor Estándar

El valor estándar se presenta como 0,01. Este valor sirve como una referencia o límite que se espera que los valores de resistividad de los polímeros no superen para mantener un rendimiento adecuado.

#### Condiciones Evaluadas

- Seco:
  - Pin Nuevo: 0,0268
  - Pin Deteriorado: 0,0671
- Lluvia:
  - Pin Nuevo: 0,168
  - Pin Deteriorado: 0,117
- Contaminante:
  - Pin Nuevo: 0,057
  - Pin Deteriorado: 0,057

## **Análisis de los Resultados**

- Condición Seco:

- El polímero nuevo presenta un valor de 0,0268, que es más del doble del valor estándar de 0,01.

- El polímero deteriorado tiene un valor aún mayor, de 0,0671, que es más de seis veces el valor estándar.

- Condición Lluvia:

- Ambos polímeros muestran valores significativamente más altos que el valor estándar, con el polímero nuevo alcanzando 0,168 y el polímero deteriorado 0,117.

- Condición Contaminante:

- Tanto el polímero nuevo como el deteriorado presentan el mismo valor de 0,057, que es significativamente mayor que el valor estándar de 0,01.

## **Línea de Valor Estándar**

La línea morada en el gráfico sirve como una guía visual que muestra cómo los valores medios geométricos de las diferentes pruebas se comparan con el valor estándar de 0,01. Para los polímeros nuevos y deteriorados, en todas las condiciones (seco, lluvia, contaminante), las medias geométricas exceden ampliamente el valor estándar.

## **Interpretación de la Media Geométrica**

La media geométrica proporciona una representación más precisa de los valores de resistividad, especialmente cuando los datos varían en órdenes de magnitud. La utilización de la media geométrica en este contexto ayuda a entender la tendencia central de la resistividad de los polímeros bajo diferentes condiciones, destacando las diferencias en rendimiento entre polímeros nuevos y deteriorados.

## CAPITULO 4

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

- El método simplificado propuesto para medir la tangente delta ha sido validado a través de pruebas de procesamiento y aplicación en varios aislantes bajo diferentes condiciones ambientales. Aunque el método mostró eficiencia, su implementación en el laboratorio de alta tensión presentó desafíos debido a la falta de instrumentos específicos.
- La importancia de medir la tangente delta en componentes eléctricos de alto voltaje, es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia de los sistemas eléctricos. Además, se justifica la necesidad de desarrollar un método simplificado que permita realizar estas mediciones de manera más accesible en laboratorios.
- Durante las primeras pruebas realizadas en los componentes de alto voltaje, se observó que el cable, grilón y el polímero presentan mayor nivel de ruido en la señal situación que atribuye a la forma física de estos elementos que actúan como antena para captar el espectro electromagnético, mientras que el pin proporciona una señal sin ruido aparente.
- Experimentalmente se determinó el valor de la resistencia utilizada como sensor para medir la corriente iniciando con un valor recomendable del paper [17], hasta llegar al valor de  $20 k$  en el que se puede observar que la contaminación electromagnética disminuye.
- Se implementó un filtro digital en MATLAB, el cual fue validado matemáticamente para garantizar su precisión. Al procesar los datos con este filtro, se obtuvieron resultados consistentes, cabe recalcar que el orden utilizado fue seleccionado por la precisión en el procesamiento de las señales digitales.
- En la validación en condiciones seco, de lluvia y contaminante reveló diferencias significativas en el comportamiento de los aislantes nuevos y deteriorados, lo que destaca la importancia de optimizar el método y considerar las características específicas de los equipos utilizados.

- Las pruebas en lluvia acentúa las diferencias de rendimiento entre los componentes nuevos y deteriorados, especialmente en el caso del pin. Estas pruebas subrayan la importancia de mantener los componentes en buen estado para asegurar un rendimiento óptimo y minimizar las pérdidas en diversas condiciones
- Se estableció el método de la media geométrica para determinar el comportamiento promedio de las distintas muestras en los aislantes. La evaluación de las pruebas efectuadas en componentes de alto voltaje bajo diversas condiciones ambientales revela que aquellos componentes en estado deteriorado exhiben valores por encima de la media geométrica y de los estándares aceptables, lo cual señala un evidente deterioro en su desempeño.
- Tanto el pin como el polímero muestran signos de deterioro en todas las condiciones evaluadas. Los valores elevados en los componentes deteriorados en comparación con los nuevos indican que estos materiales pierden su efectividad y presentan mayores pérdidas en condiciones de operación adversas.
- En condiciones de lluvia y contaminación, tanto los polímeros nuevos como los deteriorados superan los límites establecidos por los estándares. Esta desviación indica que las condiciones ambientales adversas afectan significativamente el rendimiento de los polímeros, ya sea que estén en estado nuevo o ya presenten signos de deterioro. La lluvia y la contaminación pueden provocar la acumulación de contaminantes en la superficie del polímero, lo que altera sus propiedades dieléctricas.
- Se demostró que el método es válido para condiciones específicas. Sin embargo, en presencia de contaminación, la condición de los instrumentos, así como otros factores ambientales, afectan significativamente los resultados esperados. Esto condujo a la conclusión de que el método no cumple con las expectativas para todas las condiciones establecidas, ya que su desempeño se ve comprometido en entornos contaminados.

## RECOMENDACIONES:

- Sustituir la resistencia de  $20\text{ k}\omega$  por un sensor de efecto Hall para la medición de corriente. Esta modificación mejorará la precisión, ya que los sensores de efecto Hall ofrecen una alta exactitud en la medición de corrientes, incrementando la fiabilidad de los datos recolectados. Además, se aumentará la seguridad, puesto que este tipo de sensor permite medir corrientes sin contacto directo, reduciendo los riesgos asociados a la manipulación de corrientes eléctricas. Los sensores de efecto Hall también facilitan la implementación, dado que se integran fácilmente en sistemas electrónicos, simplificando el montaje y el mantenimiento del circuito.
- Evaluar la viabilidad y precisión de la medición de tangente delta utilizando voltaje de corriente continua (DC). Explorar la posibilidad de medir la tangente delta con voltaje DC puede generar beneficios significativos en el ámbito técnico, proporcionando nuevas perspectivas sobre las propiedades dieléctricas de los materiales. Esta investigación también proporcionará una base para comparar la eficacia y precisión entre las mediciones con voltaje alterno (AC) y voltaje DC, incrementando el conocimiento en esta área de estudio. Además, la medición con voltaje DC podría resultar más práctica y fácil de implementar en ciertos escenarios.
- Desarrollar una base de datos que compile los resultados de ensayos similares para facilitar la comparación de datos y el análisis de tendencias. Una base de datos bien estructurada conlleva múltiples beneficios técnicos, como la comparación eficiente de los resultados obtenidos en diferentes ensayos, la identificación de patrones y posibles anomalías. Además, mantiene un registro histórico útil para investigaciones y desarrollos futuros. Esta base de datos puede ser un recurso compartido para investigadores y estudiantes, fomentando la colaboración y el avance del conocimiento en el campo de la tangente delta y propiedades dieléctricas. La disponibilidad de datos comparativos también puede validar métodos y mejorar la precisión de las mediciones al proporcionar un contexto de referencia sólido.

# Anexos

## Código Implementado:

```
1 clc;
2 close all;
3 clear;
4
5 % Cargar los datos desde el osciloscopio
6 data = xlsread("grilon_seco_6.xlsx");
7
8 % Separa los datos de corriente y voltaje
9 voltaje = data(:, 2);
10 tiempo = data(:, 1);
11 corriente = data(:, 4);
12
13 % Frecuencia de la componente fundamental
14 f0 = 60; % Frecuencia de 60 Hz
15
16 % Frecuencia de muestreo (Fs)
17 Fs = 1 / (tiempo(2) - tiempo(1));
18
19 % Dise o del filtro FIR
20 fc = 80; % Frecuencia de corte
21 N = 318; % Orden del filtro FIR
22 b = fir1(N, fc/(Fs/2), 'low', hamming(N+1));
23
24 % Filtrado de las se ales
25 voltaje_filtrado = filter(b, 1, voltaje);
26 corriente_filtrado = filter(b, 1, corriente);
27
28 % N mero de puntos en la se al
29 N = length(voltaje);
30
31 % Aplicar la Transformada de Fourier
32 Vf = fft(voltaje_filtrado);
33 Cf = fft(corriente_filtrado);
34
35 % Calcular el vector de frecuencias
36 frecuencias = (0:N-1)*(Fs/N);
37
38 % Extraer la componente fundamental
39 [~, idx60Hz] = min(abs(frecuencias - f0));
```

```

40
41 % Crear un vector de frecuencias correspondiente a la componente fundamental voltaje
42 Vf_fundamental = zeros(size(Vf));
43 Vf_fundamental(idx60Hz) = Vf(idx60Hz);
44 Vf_fundamental(N-idx60Hz+2) = Vf(N-idx60Hz+2);
45
46 % Crear un vector de frecuencias correspondiente a la componente fundamental corriente
47 Cf_fundamental = zeros(size(Cf));
48 Cf_fundamental(idx60Hz) = Cf(idx60Hz);
49 Cf_fundamental(N-idx60Hz+2) = Cf(N-idx60Hz+2);
50
51 % Recuperar la se al en el dominio del tiempo
52 voltaje_fundamental = ifft(Vf_fundamental, 'symmetric');
53 corriente_fundamental = ifft(Cf_fundamental, 'symmetric');
54
55 % Considerar el tercer ciclo (del tercer ciclo, puntos 1667 a 2*1667)
56 ciclo = 1667;
57 if 2*ciclo > length(tiempo)
58     error('El ciclo especificado excede la longitud de los datos disponibles.');
```

```

59 end
60
61 % Corte al tercer ciclo de 1667 datos
62 inicio = 1*ciclo + 1;
63 fin = 2*ciclo;
64
65 tiempo_omitido = tiempo(inicio:fin);
66 voltaje_omitido = voltaje(inicio:fin);
67 corriente_omitido = corriente(inicio:fin);
68 voltaje_filtrado_omitido = voltaje_filtrado(inicio:fin);
69 corriente_filtrado_omitido = corriente_filtrado(inicio:fin);
70 voltaje_fundamental_omitido = voltaje_fundamental(inicio:fin);
71 corriente_fundamental_omitido = corriente_fundamental(inicio:fin);
72
73 % Graficar las se ales fundamentales
74 figure(1);
75 yyaxis left;
76 plot(tiempo_omitido, voltaje_fundamental_omitido*100, 'b', 'DisplayName', 'Voltaje');
77 ylabel('Voltaje (V)');
78 yyaxis right;
79 plot(tiempo_omitido, corriente_fundamental_omitido/100000, 'r', 'DisplayName', 'Corriente
');
80 ylabel('Corriente (A)');
81 xlabel('Tiempo (s)');
82 title('Relaci n entre Voltaje y Corriente ');
83 grid on;
84 legend('Location', 'best');
```

```

85
86 % Graficar la se al original y la se al fundamental del voltaje
87 figure(2);
88 subplot(3, 1, 1);
89 plot(tiempo_omitido, voltaje_omitido*100);
90 xlabel('Tiempo (s)');
91 ylabel('Voltaje (V)');
92 title('Se al Original Voltaje');
93 grid on;
94

```

```

95 subplot(3, 1, 2);
96 plot(tiempo_omitido, voltaje_filtrado_omitido*100, 'r');
97 xlabel('Tiempo (s)');
98 ylabel('Voltaje (V)');
99 title('Se al Voltaje Filtrado');
100 grid on;
101
102 subplot(3, 1, 3);
103 plot(tiempo_omitido, voltaje_fundamental_omitido*100, 'r');
104 xlabel('Tiempo (s)');
105 ylabel('Voltaje (V)');
106 title('Se al Fundamental Voltaje (60 Hz)');
107 grid on;
108
109 % Graficar la se al original y la se al fundamental de corriente
110 figure(3);
111 subplot(3, 1, 1);
112 plot(tiempo_omitido, corriente_omitido/100000);
113 xlabel('Tiempo (s)');
114 ylabel('Corriente (A)');
115 title('Se al Original Corriente');
116 grid on;
117
118 subplot(3, 1, 2);
119 plot(tiempo_omitido, corriente_filtrado_omitido/100000, 'r');
120 xlabel('Tiempo (s)');
121 ylabel('Corriente (A)');
122 title('Se al Corriente Filtrada');
123 grid on;
124
125 subplot(3, 1, 3);
126 plot(tiempo_omitido, corriente_fundamental_omitido/100000, 'r');
127 xlabel('Tiempo (s)');
128 ylabel('Corriente (A)');
129 title('Se al Fundamental Corriente (60 Hz)');
130 grid on;
131
132 %%%
133 % Calculando el voltaje rms
134 Vrms = sqrt(sum(voltaje_omitido.^2)/length(voltaje_omitido))*100;
135 disp(['El voltaje rms es: ' num2str(Vrms) 'V']);
136 %%%
137 % Calculando la corriente rms
138 Irms = sqrt(sum(corriente_omitido.^2)/length(corriente_omitido));
139 %%%
140 % Calculando la corriente
141 I = Irms/20000;
142 disp(['La corriente es: ' num2str(I) 'A']);
143 %%%
144
145 % Encuentra la fase en radianes a 60 Hz
146 fase_corriente_60hz = angle(Cf_fundamental(idx60Hz));
147 fase_voltaje_60hz = angle(Vf_fundamental(idx60Hz));
148
149 % Convierte la fase a grados
150 fase_corriente_grados_60hz = rad2deg(fase_corriente_60hz);

```

```

151 fase_voltaje_grados_60hz = rad2deg(fase_voltaje_60hz);
152
153 % Calcula el desfase de ngulo a 60 Hz
154 desfase_angulo_60hz = fase_corriente_grados_60hz - fase_voltaje_grados_60hz;
155
156 % Imprime el resultado
157 fprintf('El desfase de ngulo a 60 Hz entre corriente y voltaje es: %.2f grados\n',
    desfase_angulo_60hz);
158
159 figure(1);
160 texto= sprintf(' ngulo de desfase: %.2f',desfase_angulo_60hz);
161 annotation('textbox', [0.16, 0.22, 0.05, 0.05], 'String', texto, 'FitBoxToText', 'on', '
    BackgroundColor', 'white');
162
163 %%%%%%%%%Codigo para el calculo de la tangentedelta%%%%%%%%
164
165 % Calcula el desfase de ngulo a 60 Hz
166 desfase_angulo_60hz = fase_corriente_grados_60hz - fase_voltaje_grados_60hz;
167
168 % Calcula y muestra el resultado de la resta
169 angulo_resta = 90 - desfase_angulo_60hz;
170 fprintf('El resultado de (90 - desfase) es: %.2f grados\n', angulo_resta);
171
172 % Calcula la tangente delta
173 angulo_radianes = deg2rad(angulo_resta);
174 tangente_delta = tan(angulo_radianes);
175
176 % Imprime la explicaci n
177 fprintf('\nDebido a que el resultado de (90 - desfase) se encuentra en grados se lo
    transforma a radianes:\n ');
178
179 % Imprime el resultado de la tangente delta (valor original, que puede ser negativo)
180 fprintf('La tangente delta (tan ) original es: %.6f\n', tangente_delta);
181
182 % Imprime la explicaci n
183 fprintf('\nLa tangente de un ngulo negativo es simplemente el negativo de la tangente
    del ngulo positivo:\n');
184
185 % Imprime el resultado de la tangente delta (valor absoluto)
186 tangente_delta_abs = abs(tangente_delta);
187 fprintf('La tangente delta (tan ) es: %.6f\n', tangente_delta_abs);
188
189 % A ade una explicaci n sobre el valor absoluto
190 fprintf('Nota: Se muestra tambi n el valor absoluto de la tangente delta, ya que es una
    medida de p rdidas y en la pr ctica se considera positiva.\n');
191
192 figure(1);
193 texto_tan_delta_abs = sprintf('Tangente delta: %.6f', tangente_delta_abs);
194 annotation('textbox', [0.50, 0.85, 0.2, 0.05], 'String', texto_tan_delta_abs, '
    FitBoxToText', 'on', 'BackgroundColor', 'white');

```

Listing 4.1: Código MATLAB para análisis de señales

## Apéndice A: Ensayo en SECO

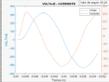
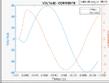
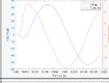
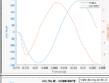
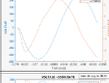
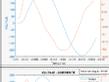
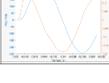
			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado.Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
1	Grilon		23.42	23501.7099V	1.3633e-05A		93.43	0.060018	22.10	45,00	749,10
	Cable	Nuevo	4.19	4222.7481V	0.00012764A		92.02	0.035313	22.20	42,00	749,00
		Viejo	3.10	3143.2863V	0.00010004A		91.71	0.029859	22.20	42,00	749,00
	Pin	Nuevo	17.59	18015.8219V	0.00010223A		90.49	0.008517	22.90	38,00	748,30
		Viejo	16.77	18067.5105V	9.9111e-05A		83.79	0.108845	22.70	37,00	748,40
	Polimero	Nuevo	17.47	17245.5056V	7.3166e-06A		87.87	0.037245	22.80	39,00	748,80
		Viejo	15.51	17291.8683V	6.5765e-06A		92.51	0.043914	22.60	42,00	748,90

Figura 4.1: Tabla de datos prueba 1 ensayo en seco

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado.Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
2	Grilon		23.42	23368.0939V	1.4494e-05A		95.36	0.093818	20,60	47,00	752,40
	Cable	Nuevo	4,13	4144.472V	0.00012602A		94.36	0.076318	20,20	51,00	752,60
		Viejo	3,09	3123.5702V	0.00010007A		94.31	0.075336	20,40	50,00	752,50
	Pin	Nuevo	16,77	16574.4421V	9.7517e-05A		93.83	0.066952	18,20	55,00	752,80
		Viejo	16,71	16471.6127V	9.2623e-05A		86.78	0.056254	19,50	52,00	752,70
	Polimero	Nuevo	17,83	17521.5709V	7.6488e-06A		91.47	0.025653	20,00	51,00	752,70
		Viejo	15,68	15491.5895V	6.0203e-06A		95.65	0.098973	19,90	51,00	752,60

Figura 4.2: Tabla de datos prueba 2 ensayo en seco

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado.Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
3	Grilon		23,69	23623.5219V	1.453e-05A		95.42	0.094798	20,30	46,00	749,70
	Cable	Nuevo	4,48	4307.6684V	0.00013084A		94.52	0.078967	20,50	47,00	749,70
		Viejo	3,09	3111.6008V	9.9699e-05A		94.42	0.077337	20,40	46,00	749,60
	Pin	Nuevo	16,66	16520.0691V	9.7079e-05A		93.78	0.066131	20,90	48,00	749,60
		Viejo	16,79	16590.8395V	9.2721e-05A		87.80	0.038410	21,00	45,00	749,60
	Polimero	Nuevo	17,86	17638.843V	7.5036e-06A		91.35	0.023626	21,10	44,00	749,60
		Viejo	15,47	15295.6797V	8.0122e-06A		96.24	0.109371	21,10	46,00	749,60

Figura 4.3: Tabla de datos prueba 3 ensayo en seco

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado.Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
4	Grilon		21,73	21749.453V	1.2091e-05A		92.89	0.050440	20,00	52,00	754,10
	Cable	Nuevo	4,11	4151.0203V	0.00012643A		91.65	0.028889	20,70	52,00	754,10
		Viejo	3,02	3062.0712V	9.8362e-05A		91.60	0.027880	20,60	53,00	754,10
	Pin	Nuevo	16,34	16228.5684V	9.4727e-05A		90.87	0.015159	20,50	54,00	754,20
		Viejo	16,26	16119.9106V	9.7114e-05A		83.60	0.112233	20,40	51,00	754,20
	Polimero	Nuevo	17,63	17461.6447V	7.1545e-06A		88.72	0.022344	20,60	50,00	754,10
		Viejo	17,37	17212.1217V	6.8995e-06A		93.26	0.056893	20,70	52,00	754,20

Figura 4.4: Tabla de datos prueba 4 ensayo en seco

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado.Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
5	Grilon		21,85	21877.1791V	1,23E-02		92.55	0.044544	20,40	51,00	753,30
	Cable	Nuevo	4,20	4240.0154V	0.00012916		91.76	0.030805	20,50	52,00	753,30
		Viejo	3,50	3541.5515V	0.00011336		91.55	0.027090	20,60	51,00	753,20
	Pin	Nuevo	16,40	16267.497V	0.00010395A		90.85	0.014801	20,60	51,00	753,30
		Viejo	16,45	16315.783V	9,16E-01		84.06	0.104128	20,60	51,00	753,20
	Polimero	Nuevo	17,61	17439.091V	7,13E-02		88.31	0.029431	20,80	51,00	753,10
		Viejo	17,07	16958.8061V	6,95E-03		93.22	0.056242	20,70	50,00	753,10

Figura 4.5: Tabla de datos prueba 5 ensayo en seco

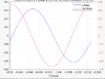
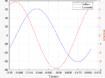
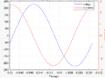
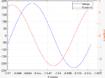
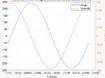
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat%	Presión Atmos(hPa)
6	Grilon		22,43	22463.822V	1.3345e-05A		92.66	0.046523	20,90	49,00	751,60
	Cable	Nuevo	4,28	4342.1472V	0.00013646A		91.66	0.029061	20,80	48,00	751,60
		Viejo	3,12	3155.8088V	0.00011304A		91.51	0.026307	20,80	48,00	751,70
	Pin	Nuevo	16,10	15964.3003V	9.3461e-05A		90.86	0.014960	20,80	49,00	751,80
		Viejo	16,46	16381.027V	9.2161e-05A		84.58	0.094835	20,80	49,00	751,80
	Polimero	Nuevo	17,06	16899.8206V	6.8204e-06A		88.56	0.025062	20,70	49,00	751,80
		Viejo	17,57	17400.6157V	6.8211e-06A		93.44	0.060108	20,60	49,00	751,80

Figura 4.6: Tabla de datos prueba 6 ensayo en seco



Figura 4.7: Prueba de resistencia para mejorar señal



Figura 4.8: Pin Ensayo-Seco



Figura 4.9: Polímero Ensayo-Seco

## Apéndice B: Ensayo en LLUVIA

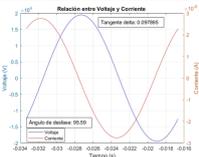
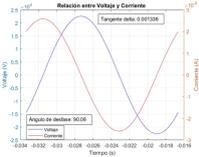
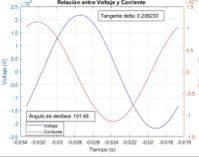
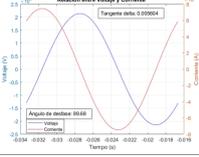
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesad o. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan(δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
<b>1</b>	<b>Pin</b>	<b>Nuevo</b>	<b>16,44</b>	<b>14000,5862</b>	<b>1,00600E-04</b>		<b>93,59</b>	<b>0,06271</b>	<b>18,90</b>	<b>48,00</b>	<b>754,40</b>
		<b>Viejo</b>	<b>16,53</b>	<b>16239,2402</b>	<b>9,40780E-05</b>		<b>87,79</b>	<b>0,03864</b>	<b>18,90</b>	<b>50,00</b>	<b>754,40</b>
	<b>Polimero</b>	<b>Nuevo</b>	<b>17,25</b>	<b>15637,0962</b>	<b>4,20800E-05</b>		<b>99,60</b>	<b>0,16920</b>	<b>18,90</b>	<b>50,00</b>	<b>754,40</b>
		<b>Viejo</b>	<b>17,30</b>	<b>15343,9588</b>	<b>2,75850E-05</b>		<b>87,31</b>	<b>0,04693</b>	<b>19,00</b>	<b>49,00</b>	<b>754,40</b>

Figura 4.10: Tabla de datos prueba 1 Ensayo-Lluvia

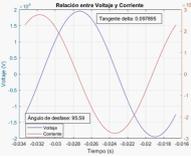
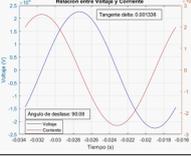
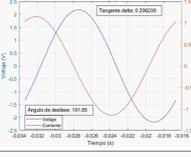
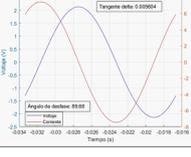
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesad o. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
2	Pin	Nuevo	16,48	14000,5862	1,00600E-04		93,59	0,06271	19,60	48,00	753,80
		Viejo	16,30	16239,2402	9,40780E-05		87,79	0,03864	19,50	47,00	753,80
	Polimero	Nuevo	17,53	15637,0962	4,20800E-05		99,60	0,16920	19,40	46,00	753,90
		Viejo	17,50	15343,9588	2,75850E-05		87,31	0,04693	19,30	45,00	753,90

Figura 4.11: Tabla de datos prueba 2 Ensayo-Lluvia

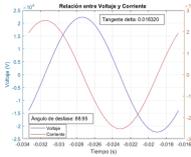
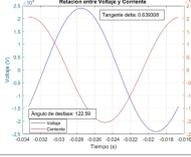
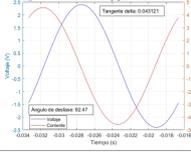
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesad o. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
3	Pin	Nuevo	16,26	16163,8372	1,05660E-04		88,87	0,01978	19,60	45,00	753,50
		Viejo	16,60	16042,7294	9,21160E-05		86,53	0,06055	19,70	45,00	753,60
	Polimero	Nuevo	17,35	17292,7314	9,00570E-06		122,81	0,64483	19,80	50,00	753,60
		Viejo	17,10	17238,4387	1,73690E-05		90,90	0,01579	19,90	52,00	753,60

Figura 4.12: Tabla de datos prueba 3 Ensayo-Lluvia

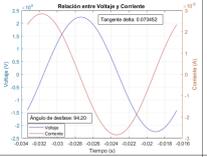
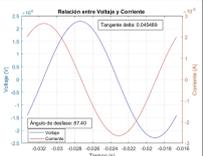
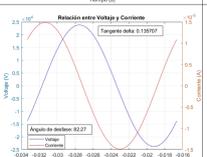
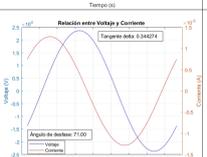
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesad o. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
4	Pin	Nuevo	16,25	16140,1956	1,03880E-04		91,60	0,02794	19,80	48,00	753,30
		Viejo	16,32	16422,9696	9,63050E-05		85,14	0,08509	19,80	50,00	753,40
	Polimero	Nuevo	17,05	17081,6115	5,41150E-05		79,95	0,17726	19,80	48,00	753,40
		Viejo	17,40	17001,5871	4,64440E-05		68,74	0,38900	19,80	48,00	753,40

Figura 4.13: Tabla de datos prueba 4 Ensayo-Lluvia

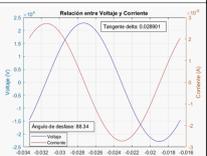
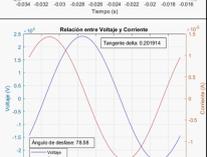
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesad o. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
5	Pin	Nuevo	16,37	16272,8534	1,08790E-04		90,32	0,00551	19,90	44,00	753,00
		Viejo	16,39	16438,1636	9,88640E-05		86,02	0,06966	20,00	47,00	753,00
	Polimero	Nuevo	17,25	17042,7178	3,74320E-05		88,83	0,02047	20,00	48,00	753,10
		Viejo	17,40	17301,7872	5,19030E-05		76,31	0,24355	20,00	48,00	752,90

Figura 4.14: Tabla de datos prueba 5 Ensayo-Lluvia

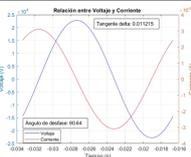
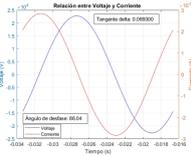
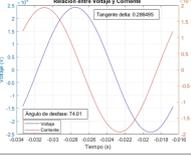
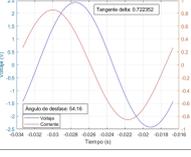
			<b>Volt. Ent (kV)</b>	<b>Volt.Procesad o. Mat (V)</b>	<b>Corriente. Procesada (A)</b>	<b>Señal Matlab</b>	<b>Ángulo (°)</b>	<b>Tan(δ)</b>	<b>Temp °C</b>	<b>Humedad. Relat(%)</b>	<b>Presión. Atmos (hPa)</b>
<b>6</b>	<b>Pin</b>	<b>Nuevo</b>	<b>16,53</b>	<b>16384,9932</b>	<b>1,12440E-04</b>		<b>88,27</b>	<b>0,03025</b>	<b>20,00</b>	<b>48,00</b>	<b>752,30</b>
		<b>Viejo</b>	<b>16,42</b>	<b>16336,3125</b>	<b>1,03030E-04</b>		<b>83,68</b>	<b>0,11067</b>	<b>20,00</b>	<b>49,00</b>	<b>752,20</b>
	<b>Polimero</b>	<b>Nuevo</b>	<b>17,50</b>	<b>17419,1009</b>	<b>7,01300E-05</b>		<b>71,67</b>	<b>0,33127</b>	<b>20,00</b>	<b>52,00</b>	<b>752,20</b>
		<b>Viejo</b>	<b>17,65</b>	<b>17390,8222</b>	<b>3,05030E-04</b>		<b>51,64</b>	<b>0,79136</b>	<b>20,10</b>	<b>55,00</b>	<b>752,10</b>

Figura 4.15: Tabla de datos prueba 6 Ensayo-Lluvia

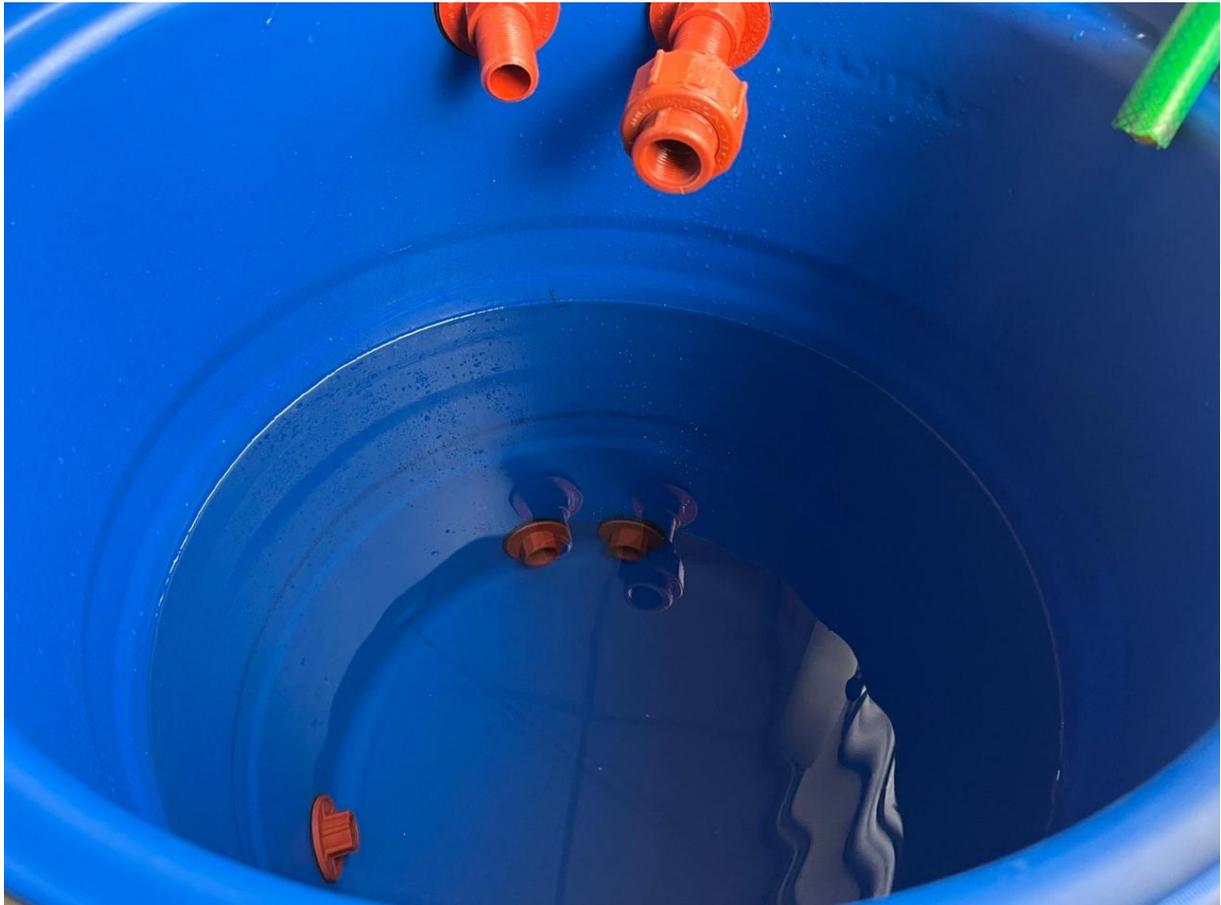


Figura 4.16: Llenado taque Ensayo-Lluvia



Figura 4.17: Medición de resistividad del agua Ensayo-Lluvia



Figura 4.18: Pin Ensayo-Lluvia



Figura 4.19: Polímero Ensayo-Lluvia

# Apéndice C: Ensayo en CONTAMINACIÓN

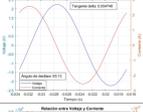
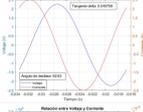
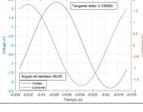
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
<b>1</b>	Pin	Nuevo	16,25	16074,216	9,35050E-05		<b>90,86</b>	0,01496	19,60	47,00	754,00
		Viejo	16,20	16066,395	9,08000E-05		<b>90,30</b>	0,00519	19,60	46,00	754,10
	Polimero	Nuevo	17,25	17054,909	6,59660E-06		88,27	0,03024	19,50	48,00	754,20
		Viejo	17,01	16850,765	6,72910E-06		<b>93,91</b>	0,06841	19,60	47,00	754,20

Figura 4.20: Tabla de datos prueba 1-Contaminante

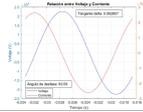
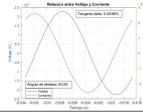
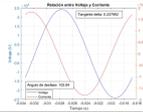
			Volt. Ent (kV)	Volt. Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat (%)	Presión. Atmos (hPa)
<b>2</b>	Pin	Nuevo	16,48	16251,579	9,51120E-05		<b>91,36</b>	0,02367	21,20	46,00	751,40
		Viejo	16,49	16343,338	9,41050E-05		<b>90,83</b>	0,01456	21,60	45,00	751,40
	Polimero	Nuevo	17,49	17334,423	6,84770E-06		<b>101,45</b>	0,20252	21,60	44,00	751,50
		Viejo	17,01	16832,933	7,46560E-06		<b>100,04</b>	0,14292	21,60	44,00	751,50

Figura 4.21: Tabla de datos prueba 2-Contaminante

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
3	Pin	Nuevo	16,36	16060,895	1,12270E-04		89,63	0,00638	17,90	47,00	753,60
		Viejo	16,54	16327,156	9,34610E-05		89,16	0,01469	17,80	48,00	753,60
	Polimero	Nuevo	17,49	17247,487	7,08310E-06		88,28	0,03010	17,90	49,00	753,80
		Viejo	17,01	16729,024	7,27450E-06		92,33	0,04068	17,80	47,00	753,70

Figura 4.22: Tabla de datos prueba 3-Contaminante

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
4	Pin	Nuevo	16,25	16081,759	9,52190E-05		89,92	0,00132	20,30	44,00	750,70
		Viejo	16,20	16024,133	9,16710E-05		88,36	0,02864	20,40	44,00	750,70
	Polimero	Nuevo	17,05	16821,011	6,41110E-06		86,78	0,05621	20,10	45,00	750,08
		Viejo	17,15	16914,271	6,85300E-06		92,52	0,04403	20,20	44,00	750,80

Figura 4.23: Tabla de datos prueba 4-Contaminante

			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
5	Pin	Nuevo	16,37	15949,690	9,54830E-05		89,36	0,01125	19,40	52,00	751,60
		Viejo	16,39	16049,611	8,95840E-05		87,37	0,04587	19,40	50,00	751,60
	Polimero	Nuevo	17,20	16874,159	6,30230E-06		86,28	0,06502	19,40	51,00	751,50
		Viejo	17,17	16915,976	6,97060E-06		92,32	0,04053	19,40	50,00	751,60

Figura 4.24: Tabla de datos prueba 5-Contaminante

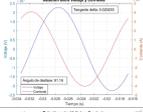
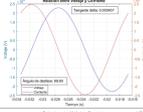
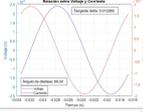
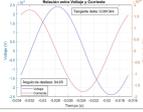
			Volt. Ent (kV)	Volt.Procesado. Mat (V)	Corriente. Procesada (A)	Señal Matlab	Ángulo (°)	Tan (δ)	Temp °C	Humedad. Relat(%)	Presión. Atmos (hPa)
<b>6</b>	<b>Pin</b>	Nuevo	16,46	16303,548	1,47350E-04		88,87	0,01981	19,90	51,00	753,90
		Visjo	16,59	16384,428	9,02230E-05		87,48	0,04406	20,10	53,00	753,80
	<b>Polimero</b>	Nuevo	17,45	17242,322	7,10470E-06		87,22	0,04861	20,20	50,00	753,80
		Visjo	17,45	17248,717	6,68950E-06		92,66	0,04640	20,20	49,00	753,70

Figura 4.25: Tabla de datos prueba 6-Contaminante

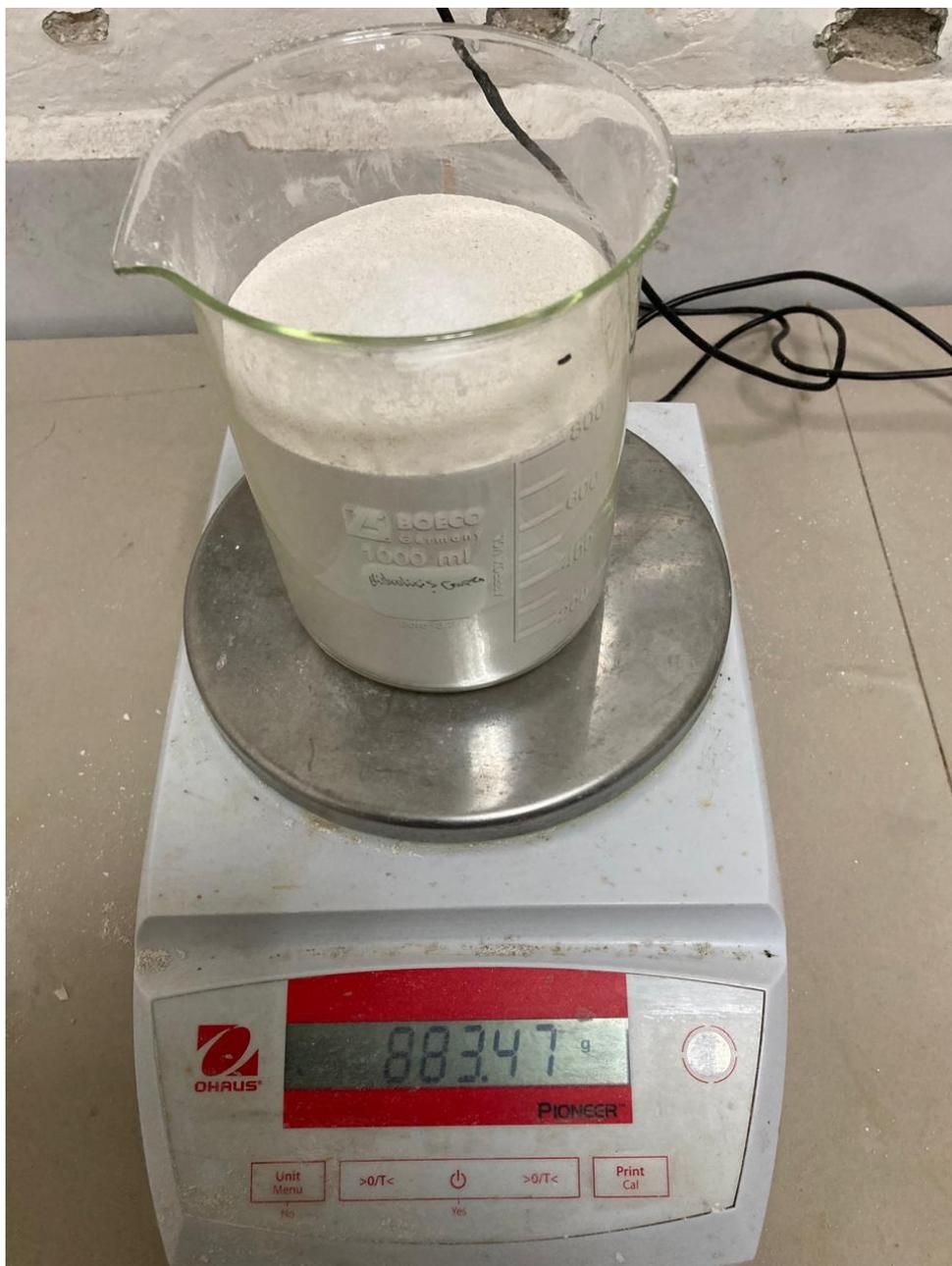


Figura 4.26: Preparación del contaminación



Figura 4.27: Lavado del polímero



Figura 4.28: Polímeros Ensayo-Contaminación



Figura 4.29: Secado de Polímero-Pin-Contaminación

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Filipovic-Grcic, B. Filipovic-Grcic, and I. Novko, “An improved method for performance testing of partial discharge calibrators,” in *The International Symposium on High Voltage Engineering*. Springer, 2019, pp. 1334–1345.
- [2] “Ieee standard for high-voltage testing techniques,” *IEEE Std 4-2013 (Revision of IEEE Std 4-1995)*, pp. 1–213, 2013.
- [3] R. Arora and W. Mosch, *High voltage and electrical insulation engineering*. John Wiley & Sons, 2022.
- [4] “Ieee guide for field testing and evaluation of the insulation of shielded power cable systems rated 5 kv and above - redline,” *IEEE Std 400-2023 (Revision of IEEE Std 400-2012) - Redline*, pp. 1–89, 2023.
- [5] M. Naidu and V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*. McGraw-Hill Education, 2013.
- [6] J. Zhang, Y. Jiao, Q. Chen, L. Zhou, H. Li, and Y. Tong, “An online measuring method for tangent delta of power cables based on an injected very-low-frequency signal,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 980–988, 2022.
- [7] N. Permal, C. K. Chakrabarty, A. R. Avinash, T. Marie, and H. Shafi Abd Halim, “Tangent delta extraction of cable joints for aged 11kv underground cable system,” in *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*, 2016, pp. 265–270.
- [8] L. Tang and B.-T. Ooi, “Locating and isolating dc faults in multi-terminal dc systems,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1877–1884, 2007.
- [9] A. Avinash, C. K. Chakrabarty, and N. Permal, “Tangent delta low voltage high frequency ac method to measure hv underground xlpe cables,” *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, pp. 6284–6289, 2016.
- [10] *IEC 60270: High-voltage test techniques - Partial discharge measurements*, International Electrotechnical Commission Std., 2023, accessed: 2024-07-11. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/46409>
- [11] *IEC 60093: Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*, International Electrotechnical Commission Std., 1980, accessed: 2024-07-11. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/105>

- [12] *IEC 60250: Measurement of the electric properties of insulating materials*, International Electrotechnical Commission Std., 1969, accessed: 2024-07-11. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/4527>
- [13] *Electric Strength of Insulating Materials - Test Methods*, International Electrotechnical Commission Std. IEC 60 243, 2013.
- [14] *IEC 60247: Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor, and d.c. resistivity of insulating liquids*, International Electrotechnical Commission Std., 2004, accessed: 2024-07-11. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/4140>
- [15] “Ieee guide for field testing of shielded power cable systems using very low frequency (vlf)(less than 1 hz),” *IEEE Std 400.2-2013*, pp. 1–60, 2013.
- [16] M. I. Sultan, F. M. Al-Shehri, A. B. Al-Muhaidi, H. Ezzeldin, and A. A. Al-Saadi, “A simplified method for measuring the dielectric loss angle (tan) of insulating materials,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, no. 5, pp. 967–975, 2015.
- [17] M. Quizhpi-Cuesta, F. Gómez-Juca, W. Orozco-Tupacyupanqui, and F. Quizhpi-Palomeque, “An alternative method for partial discharges measurement using digital filters,” in *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. IEEE, 2017, pp. 92–97.
- [18] A. V. Oppenheim, *Discrete-time signal processing*. Pearson Education India, 1999.
- [19] S. Hameed, M. Rachid, B. Daneshrad, and S. Pamarti, “Frequency-domain analysis of n-path filters using conversion matrices,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 63, no. 1, pp. 74–78, 2016.
- [20] Electric Power Research Institute, *High-Voltage Overhead Transmission Line Insulators*. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute, 2013.
- [21] C. E. Carraher Jr, *Introduction to polymer chemistry*. CRC press, 2017.
- [22] V. Mehta and R. Mehta, *Principles of Power System: Including Generation, Transmission, Distribution, Switchgear and Protection: for BE/B. Tech., AMIE and Other Engineering Examinations*. S. Chand Publishing, 2005.
- [23] D. M. Bigg, *Mechanical Property Enhancement of Polymers: Polymer Blends, Alloys, and Copolymers*. Berlin, Germany: Springer, 2000.
- [24] *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*, International Electrotechnical Commission Std. IEC 60 507, 1991.